



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad Ciencias Químicas

Carrera de Ingeniería Ambiental

“Análisis de la sostenibilidad operacional de las plantas de tratamiento de aguas residuales del área rural de la ciudad de Cuenca”.

*Trabajo de titulación
previo a la obtención
del título de Ingeniera
Ambiental.*

Autora:

Arleth del Rocío Yunga Cuntada

CI: 070675770-5

Director:

Ing. Andrés Omar Alvarado Martínez, PhD

CI: 010224647-7

Cuenca – Azuay – Ecuador

2019



RESUMEN

Los sistemas centralizados de recolección y tratamiento de aguas residuales son costosos de construir y operar, especialmente en áreas con baja densidad poblacional y hogares dispersos. Por ello, ETAPA ha venido empleando sistemas descentralizados ya que no solo proporcionan una solución a largo plazo para pequeñas comunidades, sino que además son viables económicamente. Sin embargo, para ETAPA sigue representando altos costos debido a varios inconvenientes con la Operación y Mantenimiento (O&M) de estos sistemas. Por esta razón en este estudio se comparan tres escenarios de operación, el primero es la continuidad de los sistemas existentes, el segundo es la reparación de los mismos y el tercero es la puesta en marcha de una nueva planta, con el objetivo de analizar la sostenibilidad operacional de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTARs) descentralizadas operadas por ETAPA. Para lo que se recopiló información existente de la O&M de las plantas y se realizó entrevistas al personal involucrado en el manejo de estos sistemas. Los resultados revelaron, que la mayor contribución en el costo total de O&M es el salario de los trabajadores. También, existe un excesivo número de trabajos de mantenimiento que no se relacionan con el tamaño y configuración tecnológica de las plantas y que además mencionados trabajos se realizaron siguiendo un cronograma, más no, por una acción requerida. Finalmente el análisis financiero mostró la rentabilidad de la inversión para la reparación de los sistemas existentes, que presentó una reducción del costo total entre el 27 y 94% en la O&M de las plantas. De la misma manera, la reparación reflejó ser 95% más económico que la inversión para la construcción de nuevos sistemas.

Palabras clave: aguas residuales, tratamiento, plantas descentralizadas, eficiencia, costos operación y mantenimiento.



ABSTRACT

Centralized wastewater collection and treatment systems are well known for being expensive to build and operate, especially in areas with low population density and high distances between houses. Therefore, ETAPA has been using decentralized systems because they not only provide a long-term solution for small communities, but they are also economically viable. However, several inconveniences have been associated with Operation and Maintenance (O&M) of these systems, mainly represented as high costs. For this reason, the aim of this study is to compare three operation scenarios. The first one is to keep the continuity of the existing systems, the second, repairing them and the third one the star-up of a new plant. Indeed, the operational sustainability of the decentralized Wastewater Treatment Plants operated by ETAPA were analyzed. Hence, existing information of the O&M, as well as interviews to employees in charge of these activities were gathered. The results revealed that the biggest contribution in the total cost of O&M is the workers' salary. Also, there are excessive maintenance works that are not related to the size and technological configuration of the plants; which are mainly conducted following a schedule, and not as a required action. Finally, the financial analysis showed the potential profitability of the inversion destined for repairing existing systems, with a cost reduction range between 27-94% in O&M. Likewise, repairing current systems turned out to be 95% cheaper than investing in the star-up of a new plant.

Key words: wastewater, treatment, decentralized plants, efficiency, costs, operation and maintenance.



ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I.....	7
1. INTRODUCCIÓN	11
1.1. OBJETIVOS	12
1.1.1. OBJETIVO GENERAL	12
1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
1.2. HIPÓTESIS	12
CAPÍTULO II.....	13
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1. SANEAMIENTO EN EL MUNDO.	13
2.1.1. SANEAMIENTO EN LATINOAMÉRICA Y EL CARIBE.....	14
2.1.2. SANEAMIENTO EN EL ECUADOR.....	15
2.2. SISTEMA DE GESTIÓN Y TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	15
2.2.1. GESTIÓN DE AGUAS RESIDUALES.....	15
2.2.2. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	17
2.2.2.1. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON SISTEMAS CENTRALIZADOS VS DESCENTRALIZADOS.....	17
2.2.2.2. TECNOLOGÍAS USADAS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON SISTEMAS DESCENTRALIZADOS.....	19
2.2.2.2.1. HUMEDALES ARTIFICIALES (CW).....	20
2.2.2.2.2. FILTROS ANAEROBIOS VERTICALES.....	21
2.2.2.2.3. REACTOR DE LECHO DE LODOS (UASB).....	21
2.2.2.2.4. SISTEMAS DE TRATAMIENTO AEROBIOS.....	22
2.2.2.2.5. SISTEMAS DE RETENCIÓN DE BIOMASA SIN MEMBRANA (BCR).....	23
2.2.2.3. COMPARACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS AEROBIOS Y ANAEROBIOS.....	23
2.2.2.4. PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL CANTÓN CUENCA.....	24
2.3. SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA.....	25
2.3.1. COSTOS OPERACIONALES Y DE CONSUMO DE ENERGÍA.....	26
2.4. PROCESOS DE DEPURACIÓN.....	28
CAPÍTULO III.....	30
3. METODOLOGÍA	30
3.1. DISEÑO METODOLÓGICO.....	30
3.2. ÁREA DE ESTUDIO.....	30
3.3. HABITANTES ATENDIDOS.....	31
3.4. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS.....	32
3.4.1. RECOPIACIÓN DE DATOS.....	32
3.4.2. ANÁLISIS DE DATOS.....	32
3.4.2.1. PROYECCIÓN DE MANTENIMIENTOS.....	33
3.4.2.2. CORRELACIÓN.....	33
3.4.3. ANÁLISIS FINANCIERO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.....	34
3.4.3.1. COSTO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO (CO&M).....	34
3.4.3.2. VALOR ACTUAL (VA).....	34
3.4.3.3. ANÁLISIS DEL COSTO DE IMPLEMENTACIÓN DE LA MEDIDA.....	35
3.5. MANTENIMIENTO DE LOS SISTEMAS.....	36



CAPÍTULO IV.....	37
4. RESULTADOS	37
4.1. ANÁLISIS DE LOS COSTOS EN LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS PTARS... 37	
4.1.1. OBTENCIÓN DE NÚMERO DE MANTENIMIENTOS Y COSTOS ANUALES 2015 - 2017. 39	
4.2. ANÁLISIS DE LAS CONCENTRACIONES ENTRANTES/SALIENTES Y EFICIENCIAS DE REMOCIÓN DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO.....	42
4.3. ANÁLISIS DE ESCENARIOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO (O&M).	47
4.4. CORRELACIÓN.	53
CAPÍTULO V	55
5. DISCUSIÓN	55
CAPÍTULO VI.....	58
6. CONCLUSIONES.....	58
7. LIMITACIONES Y RECOMENDACIONES.....	59
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
9. ANEXOS	65
ANEXO A.- TABLAS DE SALARIOS Y TIEMPO INVERTIDO POR PARTE DEL PERSONAL EN LAS DIFERENTES PLANTAS, POR AÑO.	65
ANEXO B.- TABLA DE INSUMOS Y CANTIDADES USADAS.	69
ANEXO C.- INFORMACIÓN DE MANTENIMIENTOS DE LAS PLANTAS ^A	70
ANEXO D.- NÚMERO DE MANTENIMIENTOS DURANTE EL PERIODO 2015 - 2017.	75
ANEXO E.- PROYECCIÓN DE MANTENIMIENTOS.	76

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.- MAPA DE LOCALIZACIÓN DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL SECTOR RURAL.	31
---	-----------

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE GENERALES DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON SISTEMAS ANAEROBIOS.....	24
TABLA 2 CARACTERÍSTICAS DE LAS PTARS DEL SECTOR RURAL.....	25
TABLA 3 EFICIENCIA Y COSTOS OPERACIONALES DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES POR TECNOLOGÍA.....	27
TABLA 4 FRECUENCIA DE MANTENIMIENTOS.	36
TABLA 5 COSTO TOTAL POR TRABAJO DE MANTENIMIENTO Y COSTO INDIVIDUAL DE MANTENIMIENTO, INSUMOS Y VEHÍCULOS EN CADA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.	38
TABLA 6 COSTO DE MANTENIMIENTOS EN LOS ÚLTIMOS 3 AÑOS POR PLANTA.	40
TABLA 7 NÚMERO DE HABITANTES ATENDIDOS Y CANTIDAD DE CAUDAL TRATADO POR LOS SISTEMAS DE DEPURACIÓN.....	41
TABLA 8 CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES EN EL AFLUENTE DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.	43



TABLA 9 CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES EN EL EFLUENTE DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.	44
TABLA 10 EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO.	46
TABLA 11 CÁLCULO DEL VALOR ACTUAL, COSTO ANUAL EQUIVALENTE Y NÚMERO DE MANTENIMIENTOS PROYECTADOS, SEGÚN EL TIEMPO DE VIDA REMANENTE DE CADA PLANTA. ESCENARIO 1.- CONTINUIDAD DE MANTENIMIENTOS.	48
TABLA 12 CÁLCULO DEL VALOR ACTUAL, COSTO ANUAL EQUIVALENTE Y NÚMERO DE MANTENIMIENTOS PROYECTADOS, SEGÚN EL TIEMPO DE VIDA REMANENTE DE CADA PLANTA. ESCENARIO 2.- REPARACIÓN DE LOS SISTEMAS EXISTENTES.	50
TABLA 13 CÁLCULO DEL VALOR ACTUAL Y COSTO ANUAL EQUIVALENTE. ESCENARIO 3.- INVERSIÓN PARA UNA NUEVA PLANTA.	52
TABLA 15 COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE PEARSON ENTRE VARIABLES.	54



CLÁUSULA DE LICENCIA Y AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Arleth del Rocío Yunga Cuntada en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación “**Análisis de la sostenibilidad operacional de las plantas de tratamiento de aguas residuales del área rural de la ciudad de Cuenca**”, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 24 de enero de 2019



Arleth del Rocío Yunga Cuntada

C.I: 070675770-5



CLÁUSULA DE PROPIEDAD INTELECTUAL

Arleth del Rocío Yunga Cuntada, autora del trabajo de titulación “**Análisis de la sostenibilidad operacional de las plantas de tratamiento de aguas residuales del área rural de la ciudad de Cuenca**”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 24 de enero de 2019



Arleth del Rocío Yunga Cuntada

C.I: 070675770-5



DEDICATORIA

A mi madre, a quien prefiero llamar mi “superheroína”. Ella, compañera inquebrantable y pilar fundamental en mi vida.

A mi hermana, quien siempre tuvo una palabra de aliento y superación.

Y a todos mis amigos, quienes fueron parte de este largo proceso.

Arleth



AGRADECIMIENTOS

Un especial agradecimiento al Ing. Andrés Alvarado Martínez, director de tesis, por su valiosa orientación, persistencia, paciencia y motivación a lo largo del estudio.

Así también, al Eco. Fernando Maldonado por su apoyo y conocimiento impartido.

A ETAPA y su equipo de trabajo por la oportunidad brindada.

Arleth



CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

El acelerado crecimiento demográfico y aumento de las actividades económicas generan el incremento del uso de recursos hídricos, lo que trae consigo un acrecentamiento en los volúmenes de agua residual generados por la población.

El agua residual no tratada es una de las principales fuentes de contaminación de los cuerpos de agua, por ello, su tratamiento y reutilización es importante para la disminución de la contaminación y conservación de los recursos hídricos. No obstante, las plantas de tratamiento implican elevados costos de construcción, operación y mantenimiento; y más aún, para grandes áreas con alta densidad poblacional como lo son las zonas urbanas que necesitan ser atendidas por sistemas de tratamiento centralizados (Azizi et al., 2013).

Durante las últimas décadas ha existido gran interés por los sistemas descentralizados de tratamiento de aguas residuales, esto, debido a que se pueden emplazar en espacios reducidos, son económicos, protegen la salud pública y ayudan a la preservación ambiente.

Cuenca es la tercera ciudad más grande del Ecuador con más de medio millón de habitantes y pionera en servicios de alcantarillado y saneamiento en el país. La Empresa Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (ETAPA EP) está a cargo de estos servicios, lo que le representa un gran desafío para mantener sus altos estándares en las áreas atendidas.

En los últimos años ETAPA ha buscado soluciones sostenibles para las zonas rurales, optando precisamente por sistemas descentralizados, considerando las ventajas antes mencionadas. Sin embargo, este proceso sigue representando altos costos e involucra limitaciones como: rápido crecimiento poblacional, incremento de caudales, sistemas con posibles falencias en los diseños, tiempo de operatividad, etcétera. Estas limitaciones han ocasionado una baja en la eficiencia de remoción, generando la siguiente interrogante ¿el dinero invertido en la operación y mantenimiento de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTARs) descentralizadas justifica los resultados de eficiencias obtenidas?



Para resolver esta interrogante, el presente trabajo de investigación se planteó con el fin de comparar tres escenarios de operación: el primero involucra la continuidad de los sistemas existentes junto con el actual esquema de O&M, un segundo escenario que presenta inversiones para la reparación de todas las plantas con una restructuración en la O&M de los sistemas y un tercer escenario donde se realizan inversiones para mejorar los diseños de las PTAR existentes bajando la carga de O&M, con el objetivo de analizar la sostenibilidad operacional de las PTARs descentralizadas operadas por ETAPA.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar la sostenibilidad operacional de las plantas rurales de tratamiento de aguas residuales operadas por ETAPA.

1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtener y analizar los costos involucrados en la operación y mantenimiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales rurales del cantón Cuenca.
- Determinar el costo real para cada mantenimiento ejecutado en cada planta de tratamiento de agua residual rural manejada por ETAPA.
- Analizar los datos históricos de la eficiencia de remoción de las plantas rurales en función del costo involucrado en su operación y mantenimiento.
- Proponer y analizar posibles escenarios de operación para las plantas de tratamiento de aguas residuales rurales que brinden sostenibilidad a las mismas sin afectar la eficiencia del tratamiento.

1.2. HIPÓTESIS

Las plantas de tratamiento de aguas residuales descentralizadas manejadas por ETAPA no cuentan con una sostenibilidad económica y operacional.



CAPÍTULO II

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

2.1. SANEAMIENTO EN EL MUNDO.

Durante milenios, las aguas residuales sin tratamiento fueron vertidas a los cuerpos de agua y, alternativamente, se aplicaron a los campos para mantener la fertilidad del suelo, obteniendo así productos agrícolas de alta calidad. Esta práctica, ha ido disminuyendo desde el siglo XX hasta casi desaparecer, sin embargo, se continúa implementando en países donde el agua es escasa y la gestión de la salud está poco desarrollada (Salgot & Folch, 2018).

En la época medieval, las aguas residuales eran eliminadas por los ciudadanos en las calles o descargadas directamente a cuerpos superficiales. Así, los malos olores y las enfermedades estaban presentes en pueblos abarrotados, propensos a sufrir epidemias, como la peste bubónica o la fiebre tifoidea que diezmó poblaciones de las ciudades (Lofrano & Brown, 2010; Salgot & Folch, 2018).

Los científicos observaron que había una relación real entre la eliminación de aguas residuales y la salud de la población. Todo lo indicado impulsó la implementación de sistemas de alcantarillado y plantas de tratamiento en muchas partes del mundo y a fines del siglo XIX, comenzó a utilizarse el concepto actual de saneamiento (Salgot & Folch, 2018).

El "saneamiento" no sólo implica la eliminación de excretas, sino también medidas de salud ambiental que incluyen el suministro de agua, drenaje, manejo de desechos sólidos, además del control del mosquito vector responsable de muchas enfermedades. (Cairncross, 2018).

El manejo inseguro de desechos fecales representa un riesgo importante para la salud pública, particularmente en los países de ingresos bajos y medianos (Novotný et al., 2018). A nivel mundial, el uso de servicios de saneamiento ha aumentado rápidamente en relación a los servicios de agua potable, con un promedio de 0,63 puntos porcentuales por año entre 2000 y 2015; no obstante, la cobertura es generalmente más baja para el saneamiento que para el agua (WHO & UNICEF, 2017).



De 2.300 millones de personas que aún carecen de un servicio de saneamiento, 892 millones practican defecación al aire libre y 856 millones usan instalaciones no mejoradas como letrinas de plataforma, colgantes o de cubo (WHO & UNICEF, 2017).

Estadísticas de saneamiento limitado reflejan no sólo restricciones económicas, sino también prácticas culturales en determinadas zonas del mundo (WHO & UNICEF, 2017). Si bien el uso de lavabos privados y accesibles en las viviendas sigue siendo uno de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) planteados por el Programa de la Naciones Unidas para el Desarrollo, las instalaciones sanitarias compartidas pueden ser una mejor opción a corto plazo en algunos entornos de bajos ingresos (United Nations, 2017).

2.1.1. Saneamiento en Latinoamérica y el Caribe.

Entre 1990 y 2015, en Latinoamérica y el Caribe se observó un notable aumento del acceso a fuentes de agua seguras y saneamiento básico, pasando del 84,9% a 94,6% y de 67,3% a 83,1% respectivamente; este incremento porcentual equivale a 218,3 y 224 millones de personas que pasaron a contar con estos servicios. Durante el mismo período, la defecación al aire libre disminuyó del 83,1% al 67,3% (Garzón et al., 2015).

A pesar de este avance, en Latinoamérica y el Caribe 34 millones de personas no tienen acceso a fuentes de agua seguras y 106 millones no cuentan con saneamiento básico; así como 18,5 millones de personas, principalmente de áreas rurales, siguen practicando la defecación al aire libre. De la misma manera, todavía hay diferencias significativas en la cobertura de zonas urbanas y rurales, de modo que en las zonas rurales el 83,2% de la población cuenta con agua segura y 64,1% con saneamiento, en el área urbana los valores ascienden al 97% y 87% respectivamente. Esto demuestra que aproximadamente 18 millones de habitantes del área rural no cuentan con estos servicios básicos de los cuales más de la mitad del déficit total de los 34 millones no tienen el servicio de agua y 41 millones el de saneamiento. Sin embargo, la brecha urbano-rural en cobertura de servicio de agua potable ha disminuido del 31,6% al 13,5%, y en saneamiento, del 43,8% al 23,8% para el periodo entre 1990 y 2015 (Garzón et al., 2015).

Este progreso ha sido insuficiente también en el tratamiento de aguas residuales antes de su vertimiento a cuerpos receptores, ya que se calcula que menos del 28% de las aguas



recolectadas y menos del 18% del total de agua residual producida en los centros urbanos de Latinoamérica y el Caribe recibe algún tipo de tratamiento, generando problemas ambientales y riesgos para la salud pública (University of Yale, 2014).

Además, se estima que el 30% de los sistemas construidos en zonas rurales presenta problemas de funcionalidad, es decir, no funcionan o su rendimiento se encuentra por debajo de las especificaciones técnicas de diseño (Garzón et al., 2015). De la misma manera, el 80% las plantas de tratamiento de aguas residuales son lagunas de estabilización, lodos activados y reactores UASB, esto debido a que la mayoría de los flujos tratados son menores a 25 L/s (Noyola et al., 2012).

2.1.2. Saneamiento en el Ecuador.

La WHO y UNICEF en 1990 establecieron el Programa Conjunto de Monitoreo y Abastecimiento del Agua, el Saneamiento y la Higiene por sus siglas en inglés (JMP), esto con el fin de establecer estimaciones de referencia nacionales, regionales y mundiales en torno a los servicios de agua y saneamiento. Es decir, verifica el progreso y desarrollo de las diferentes etapas entre países para el cumplimiento la meta de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) (WHO & UNICEF, 2017).

Ecuador, desde 1990 hasta 2015 tuvo un aumento del 57% a 85,9% (28,9%) en el acceso a saneamiento mejorado, de esta manera el país logró alcanzar la meta de los ODM (GWP, 2016; INEC & Banco Mundial, 2017; WHO & UNICEF, 2017). En saneamiento, el área rural presenta un 80,4% de cobertura y en la zona urbana llega a 88,5% (INEC & Banco Mundial, 2017).

Mientras tanto, en la ciudad de Cuenca, en el año 2017, en cuanto al servicio de alcantarillado, el sector urbano tiene cobertura del 96,02% y el sector rural de 82,81% (El Telégrafo, 2017).

2.2. SISTEMA DE GESTIÓN Y TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

2.2.1. Gestión de aguas residuales.

En la actualidad, los países en desarrollo busca soluciones sostenibles en términos económicos, tecnológicos, ambientales y sociales (Azapagic, 2003; Zaharia, 2017).



Las aguas residuales se producen en todo tipo de actividades y sus características dependerán del proceso productivo, sistema de recolección, transporte y tratamiento en la fuente; por ello, en todo el mundo se están desarrollando *Waste Water Management Systems* (WWMS) sistemas de gestión de aguas residuales por sus siglas en inglés, en zonas urbanas y rurales (Kohler et al., 2016; Massoud et al., 2009).

La gestión de aguas residuales producidas en actividades productivas o no productivas, como el agua residual doméstica, se convierte en una obligación de los Municipios locales, que debe manejarse de forma responsable, eficiente y sostenible. Debido a la alta demanda por parte de la sociedad en temas de protección ambiental, calidad del agua, minimización impactos ambientales por desechos producidos, prevención y control de la contaminación, y especialmente la conservación de los recursos naturales en ciudades, pueblos u otros asentamientos para la generación futura, garantizado el desarrollo sostenible y seguro de una región (Capodaglio et al., 2017; Libralato et al., 2012; Zaharia, 2017).

Los WWMS constan de tres componentes sistémicos que son: (i) recolección de aguas residuales, (ii) tratamiento de aguas residuales y (iii) eliminación o reutilización de aguas residuales tratadas (Wilderer & Schreff, 2000).

En el primer factor, la recolección de aguas residuales, representa más del 60% del presupuesto total del costo de los sistemas centralizados de tratamiento, a diferencia de los sistemas descentralizados que son significativamente más económicos (Kohler et al., 2016; Massoud et al., 2009; Wilderer, 2004; Zaharia, 2017).

En el segundo componente, el tratamiento de aguas residuales, la PTAR es la principal inversión por los altos costos de capital, además de los costos de operación y mantenimiento. Por lo tanto, los presupuestos municipales restringidos pueden resultar en un funcionamiento deficiente de las PTAR existentes e imposibilita la construcción de nuevas instalaciones. En este sentido los sistemas descentralizados son más simples y rentables en comparación con los sistemas centralizados que necesitan enormes inversiones para el sistema de alcantarillado que puede representar hasta el 70% del presupuesto anual total (Capodaglio et al., 2017; Grebel et al., 2013; Jorsaraei et al., 2014; Libralato et al., 2012; Taylor et al., 2015).



Finalmente, la eliminación del agua residual tratada, se basa en métodos de eliminación por evaporación, descarga en aguas superficiales o por adsorción del suelo. También existen métodos de reutilización, almacenando el agua residual tratada en colectores especiales para usarla en instalaciones domésticas, riego, etc. (Zaharia, 2017).

Estos componentes sistémicos ayudan a la toma de decisiones prácticas en lo que corresponde al diseño de la gestión del tratamiento de aguas residuales y el impacto que tiene en los recursos hídricos y factores económicos y tecnológicos que interfieren en el tratamiento de aguas residuales, organizados para operar en un sistema centralizado o descentralizado (Zaharia, 2017).

2.2.2. Tratamiento de aguas residuales.

En el País, el 63,3% de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales (GADs) tratan sus aguas residuales, mientras que el 32,6% no lo hacen y el 4,1% no poseen servicio de alcantarillado (INEC & AME, 2016).

La disposición final del agua residual tratada tiene un mayor porcentaje en ríos con el 43,8%, el resto se divide en 30,3% en quebradas, 12,2% en el suelo y 13,7% a otros sitios. De igual manera, el agua residual no tratada se desecha en un 56,3% a ríos, 30,4% en quebradas y el 13,3% a canales, mar, etc. (INEC & AME, 2016).

El Ecuador cuenta con 421 plantas de tratamiento de aguas residuales de las cuales el 210 se encuentran en la Región Sierra, 129 en la Región Costa, 80 en la Región Amazónica y 2 se sitúan en la Región Insular (INEC, 2015).

Sin embargo, a nivel Nacional sólo el 29,3% de aguas residuales que ingresaron a las alcantarillas fueron tratadas, mientras que a nivel regional el porcentaje más alto de tratamiento de aguas lo tiene la Región Insular con el 75,9%, y el menor valor pertenece a la Región Amazónica con el 25,7% (INEC & AME, 2016).

2.2.2.1. Tratamiento de aguas residuales con sistemas centralizados vs descentralizados.

El tratamiento de aguas residuales debe apuntar al mejoramiento de la salud pública, calidad de agua, protección ambiental y la recuperación de recursos; por lo tanto, las aguas residuales



domésticas se recolectan generalmente en sistemas de alcantarillado y se tratan dentro de una PTAR central, y, en algunos países las aguas residuales industriales se tratan en la fuente en una PTAR descentralizada (Zaharia, 2012, 2017).

Los sistemas centralizados se caracterizan por recolectar y tratar grandes volúmenes de aguas residuales usando alcantarillas de gravedad, sistemas de bombeo, rutas de acceso, construcciones, instalaciones de tratamiento, lejos de la fuente de generación, en comparación con los sistemas descentralizados que recolectan, tratan y eliminan o reutilizan las aguas residuales tratadas cerca de la fuente de generación (3km máximo) (Buchanan, 2014; Capodaglio et al., 2017; Kohler et al., 2016; Massoud et al., 2009; Tchobanoglous et al., 2004).

Desde el siglo XIX, las instalaciones centralizadas han desempeñado un papel principal en los sistemas de aguas residuales (Hwang et al., 2014). Sin embargo, estos sistemas pueden presentar limitaciones de capacidad, especialmente en regiones que sufren escasez de agua, por la rápida expansión urbana debido al aumento de la población. Por lo tanto, los sistemas descentralizados de tratamiento de aguas residuales son una buena opción para solucionar este problema. (Gikas & Tchobanoglous, 2009).

Los principales objetivos de los sistemas centralizados y descentralizados son: proteger la salud pública, rompiendo el ciclo de enfermedades y proteger los ecosistemas evitando descargas de contaminantes a los cuerpos de agua (Capodaglio et al., 2017).

En los sistemas tradicionales, las descargas domésticas se combinan con aguas pluviales y transportan mediante un sistema de alcantarillado ampliado, a una planta de tratamiento centralizada. Por ello, para su recolección y tratamiento requiere más bombas, tuberías más largas y más energía que las descentralizadas, lo que eleva el costo de la infraestructura del sistema de recolección cerca del 80-90%. Sin embargo, el costo del tratamiento de aguas residuales por unidad de volumen en sistemas centralizados es competitivo en comparación con los sistemas descentralizados, ya que se estima que cualquier sistema de recolección puede renovarse cada 50-60 años, además del mantenimiento periódico requerido (Libralato et al., 2012).



Los sistemas descentralizados responden bien a las áreas suburbanas, centros rurales, zonas industriales, comerciales y residenciales, así como al crecimiento de la población en áreas rurales y países en desarrollo, ya que las inversiones en infraestructura pueden ponerse en marcha según sea necesario (Libralato et al., 2012).

La centralización es desfavorable por las grandes cantidades de aguas residuales diluidas que maneja, por lo tanto, aumenta el costo operacional para los usuarios y de tratamiento, además disminuye la eficiencia energética (Capodaglio et al., 2017). La descentralización, por otra parte separa las aguas residuales domésticas y el agua lluvia, evitando la dilución, permitiendo soluciones adicionales como la separación de fuentes, algo extremadamente difícil de implementar en sistemas centralizados, reduciendo la dispersión de micro contaminantes como metales y compuestos emergentes; además, la posible contaminación de los nutrientes reutilizables por los lodos resultantes (Libralato et al., 2012).

Por otra parte, las tecnologías descentralizadas podrían gestionar los sistemas de aguas residuales con alrededor del 20% de la demanda global actual de agua potable (Otterpohl et al., 2003).

Los sistemas descentralizados reducen el riesgo de problemas, fallas futuras y permiten la selección de tecnología apropiada para cada lugar específico (Kohler et al., 2016). Además, el problema del agua residual es una preocupación mundial, lo que significa que las alternativas deben ser fáciles y rápidas de implementar, asequibles y adaptables para permitir que se ofrezcan soluciones a medida (Zaharia, 2017).

Por lo tanto, es conveniente desde el punto de vista ambiental y económico tratar las aguas residuales lo más cerca posible de su fuente y sin necesidad de construir sistemas de alcantarillado extensos y frecuentemente costosos (Zaharia, 2017).

2.2.2.2. Tecnologías usadas en el tratamiento de aguas residuales con sistemas descentralizados.

Comparaciones con el tratamiento convencional han evaluado los beneficios potenciales del tratamiento anaerobio para sistemas descentralizados, debido a que la cantidad de lodos digeridos y costos energéticos son menores (McCarty et al., 2011).



Las tecnologías más comunes usadas en la descentralización son sistemas de pozos sépticos y tanques Imhoff, y también pequeñas plantas aerobias basadas en sistemas de lodos activados que siguen siendo usadas en áreas rurales de países en vías de desarrollo. Además, a estos procesos se han añadido sistemas naturales y biológicos como humedales artificiales (Singh et al., 2015).

2.2.2.2.1. Humedales artificiales (CW).

Estos sistemas son idóneos para tratar aguas residuales de comunidades pequeñas/rurales que están aisladas del sistema de alcantarillado municipal, pueden operar con bajo consumo de energía y no necesitan operadores altamente calificados. Por lo tanto, los humedales se pueden aplicar con éxito en países con baja densidad de población y con gran disponibilidad de tierras (Machado et al., 2017).

Se dividen en humedales de flujo superficial libre CW (FWS-CW) y flujo subsuperficial CW (SSF-CW), este último se subdivide en flujo subsuperficial vertical CW (VF-CW) y flujo horizontal subsuperficial CW (HF-CW). Los FWS-CW se pueden clasificar por el tipo de macrófita que utilizan como plantas de flotación libre, plantas de hojas flotantes, plantas emergentes o plantas sumergidas (Machado et al., 2017).

Las diferencias entre los dos tipos de sistemas de flujo subsuperficial está relacionada con el terreno, los HF-CW requieren un área mayor en comparación con los VF-CW. Sin embargo, los HF-CW permiten que estos sistemas tengan una mayor distancia de flujo, por ello son más eficientes en comparación con los VF-CW. Así mismo, los HF-CW operan con un flujo continuo y los VF-CW se alimentan con pulsos intermitentes; esto último permite la renovación del oxígeno en la matriz de soporte, mejorando el proceso de nitrificación mientras que el flujo continuo en los HF-CW permitirá la desnitrificación (Machado et al., 2017).

Las eficiencias de remoción dependerán principalmente del tiempo de retención hidráulica, tipo y cantidad de microorganismos, suministro de oxígeno, las características químicas del sustrato, así como el clima y la latitud de la región (Zhang et al., 2015). La temperatura juega un papel importante en el rendimiento, especialmente entre los sistemas FWS y SSF. Los SSF-CW muestran una mejor capacidad de aislamiento al ser menos sensibles a las



fluctuaciones de temperatura, a diferencia de los FWS-CW que son más sensibles a la radiación solar que puede promover mayores tasas de degradación; además, estos sistemas son particularmente efectivos en regiones con clima cálido, así como en regiones con alta radiación de luz para mejorar el crecimiento de las plantas (Machado et al., 2017). Los CW ofrecen una eliminación constante de SST y alta remoción de materia orgánica, mientras que la eliminación de nutrientes puede llegar hasta un 80% para el Nitrógeno amoniacal, y entre 60-70% para el Nitrógeno total, con requisitos de área bajos como 1.5 - 2 m²/p.e en climas cálidos y en climas fríos terrenos requeridas generalmente de 5 - 12 m²/p.e (Capodaglio et al., 2017).

2.2.2.2.2. Filtros anaerobios verticales.

Esta tecnología consiste en uno o más lechos filtrantes como rocas o plásticos colocados verticalmente, estos materiales actúan como soporte para la unión de biomasa y como un mecanismo de retención para flóculos y biomasa dispersa. El flujo se bombea a través del material de relleno, lo que permite el contacto entre los microorganismos adheridos al lecho y el agua residual (Stazi & Tomei, 2018).

Estos filtros comparados con otros reactores anaerobios de alta tasa, presentan una mayor eficiencia, operan a un tiempo de retención (HRT) menor y son menos sensible a las cargas puntuales, requiriendo volúmenes inferiores y obteniendo una baja concentración de sólidos suspendidos (SS) en el efluente. Además, tiene una recuperación rápida de la actividad biológica cuando se reinicia después de un período de interrupción. Todas estas características contribuyen a menores costos de construcción, operación y mantenimiento, lo que los hace apropiados para pequeñas instalaciones descentralizadas ubicadas en regiones de clima moderado (Stazi & Tomei, 2018).

2.2.2.2.3. Reactor de lecho de lodos (UASB).

En la actualidad, los reactores UASB se utilizan como una tecnología consolidada para tratar aguas residuales que cubren poblaciones de hasta un millón de habitantes (Chernicharo et al., 2015).

Los reactores UASB se alimentan de forma ascendente y también actúan como dispositivos de sedimentación. Este opera sólo con biomasa suspendida, así el lodo anaerobio en



condiciones físicas y químicas adecuadas, puede flocular y formar gránulos que posteriormente sedimentarán, haciéndolo no susceptible a ser arrastrado por el sistema. El modo de flujo ascendente del sistema mejora la eliminación de SS (Gomec, 2010).

La materia orgánica del afluente se transforma en metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2) durante el paso del flujo hacia arriba a través del lecho de lodo activo (Gomec, 2010). La hidrólisis de las partículas atrapadas requiere tiempos de retención relativamente largos (20 – 24 h), así mismo, aumentará a medida que la temperatura del agua residual disminuya. Este sistema requiere de temperaturas superiores a 18°C para un funcionamiento (Chernicharo et al., 2015).

2.2.2.2.4. Sistemas de tratamiento aerobios.

Los procesos de tratamiento aerobios implican el uso de microorganismos que requieren oxígeno para la degradación de compuestos orgánicos. Su huella es menor en comparación con los sistemas naturales, pero su consumo energético es mayor. En comparación con los sistemas naturales, son capaces de proporcionar efluentes de buena calidad, que cumplen fácilmente los estándares de descarga de efluentes directamente a cuerpos de agua (Capodaglio et al., 2017).

Un ejemplo típico de sistema aeróbico es el proceso de lodos activados (AS). Los sistemas AS requieren una fase de separación de los sólidos producidos, por lo que necesitan tanques de sedimentación relativamente grandes. Por ello, los bioreactores de membrana (MBR) superan esta limitación (Capodaglio et al., 2017).

La tecnología MBR integra la degradación biológica de los contaminantes de aguas residuales con filtración por membrana, asegurando la eliminación efectiva de contaminantes orgánicos e inorgánicos y material biológico del agua residual, y se ha convertido en una alternativa compacta a los sistemas AS tradicionales (Capodaglio et al., 2017).

Los MBR presentan una membrana filtrante cuyo tamaño del poro es de $1\ \mu\text{m}$, que evita la sedimentación. La filtración permite obtener una mayor concentración de biomasa dentro del proceso, lo que reduce aún más los requisitos de volumen de aireación activa, los MBR



representan una alternativa compacta aunque costosa para los sistemas descentralizados de tratamiento de aguas residuales en áreas periurbanas o urbanas (Chong et al., 2013).

La aplicación de MBR a aguas residuales domésticas puede eliminar más del 96% de Demanda Química de Oxígeno (DQO), 90% de Sólidos Suspendedos Totales (TSS), 90% de Nitrógeno Total (TN) y 100% de coliformes con demandas energéticas específicas de 1.7 – 2.3 kWh/m³ (Capodaglio et al., 2017).

2.2.2.2.5. Sistemas de retención de biomasa sin membrana (BCR).

Es una tecnología similar a los MBR que consiste en un reactor con filtros adecuados para la separación de biomasa, con una mezcla de aguas residuales y biomasa suspendida por aireación. El efluente tratado se filtra por una membrana, con un tamaño de poro de 20 μ m para la de separación de sólidos, al igual que un MBR. Sin embargo, debido a las características más gruesas del filtro, el paso del efluente ocurre por gravedad, con una pérdida de carga máxima de 2 a 3 cm (Capodaglio et al., 2017).

Pruebas de laboratorio mostraron eficiencias de eliminación de DQO de 93 a 97%. Ya que la capacidad de filtración de la membrana permanece constante, no necesita retrolavado y pueden mantener operación continua por hasta 1 año. De igual manera dichos sistemas han demostrado lograr una eliminación de 75-79% de N (Capodaglio et al., 2017).

2.2.2.3. Comparación de los tratamientos aerobios y anaerobios.

Un proceso anaerobio normalmente está diseñado para eliminar la mayoría de los contaminantes al inicio del sistema de tratamiento, mientras que el efluente se puede pulir mediante un proceso aerobio para cumplir con los estándares de descarga (Show & Lee, 2017).

Las principales limitaciones de los sistemas anaerobios son los posibles problemas de olores, también la creciente demanda de eliminación de nutrientes en el esquema de tratamiento, así como los problemas de operación y mantenimiento que se describen en la Tabla 1 (Chernicharo et al., 2015).

**Tabla 1**

Ventajas y desventajas de generales del tratamiento de aguas residuales con sistemas anaerobios.

Ventajas	Desventajas
Ahorros en costos operativos (90%), no requiere energía para aireación.	Menor eliminación de materia orgánica, requieren tratamiento posterior para cumplir con las normativas de descarga.
Producción de CH ₄ para la recuperación de energía.	El CH ₄ no se suele utilizar para generar energía y tampoco se quema, contribuyendo al efecto invernadero.
El sistema no requiere de tecnologías sofisticadas.	Los gases como H ₂ S causan problemas de olores.
Puede manejar altas tasas de cargas hidráulicas.	Eliminación de patógenos no es efectiva.
Bajos tiempo de retención entre 6 - 9h.	
Producción de lodo es baja.	
Los nutrientes valiosos como N y P se conservan, el agua puede ser utilizada para la agricultura.	

Fuente: Adaptado de Chernicharo et al., (2015)

2.2.2.4. Plantas de tratamiento de aguas residuales del cantón Cuenca.

En la ciudad de Cuenca la empresa encargada del suministro de agua potable y saneamiento es ETAPA EP.

En el presente, casi la totalidad del alcantarillado de la ciudad es de tipo combinado y está constituido por colectores, interceptores y las plantas de tratamiento de aguas residuales; es por ello que el Sistema Central (Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ucubamba) trata el 99,4% de aguas residuales del cantón Cuenca, mientras que el caudal del porcentaje restante (0,6%) es tratado por 21 pequeños sistemas descentralizados que sirven sólo al 2% del sector rural de la ciudad (ETAPA EP, 2018; Ordóñez, 2009; Rodas, 2018).

Estos pequeños sistemas descentralizados se localizan en diferentes sectores de la ciudad y han sido construidas en los últimos 30 años. La mayoría de estas plantas de tratamiento consisten en fosas sépticas y filtros anaerobios (Rodas, 2018).

En la Tabla 2 se muestra las características de cada uno de los sistemas de tratamiento con los que cuenta el área rural.

**Tabla 2***Características de las PTARS del sector rural.*

Nº	Nombre de la planta	Ubicación	Tipo de sistema	Área servida [ha]
1	Achayacu	Tarqui	F.S. + F.A.	129.4
2	Bella Unión	Santa Ana	F.S. + F.A.	76.52
3	Cementerio	Santa Ana	F.S. + F.A.	32.9
4	Churuguzo	Victoria del Portete	F.S. + H.A.	226.5
5	El Chorro	Santa Ana	F.S. + F.A.	47.9
6	Escaleras	Victoria del Portete	F.S. + F.A.	49
7	Estación Cumbe	Victoria del Portete	F.S. + F.A.	40.3
8	Guabo	Sidcay	F.S. + F.A.	25.4
9	Macas de Quingeo	Quingeo	F.S. + F.A.	11.1
10	Monjas	Quingeo	F.S. + H.A.	---
11	Laureles	Santa Ana	F.S. + F.A.	24.4
12	Octavio Cordero Palacios	Octavio Cordero Palacios	F.S. + H.A.	38.4
13	Pillachiquir	Quingeo	F.S. + F.A.	---
14	Pueblo Nuevo	Molleturo	F.S. + F.A.	55.8
15	Quillopungo	El Valle	A + B + C	150.8
16	Quingeo Centro	Quingeo	F.S. + F.A.	103.6
17	San Gabriel	Chaucha	F.S. + F.A.	---
18	San Pedro	Santa Ana	F.S. + F.A.	71
19	Soldados	Soldados	F.S. + H.A.	---
20	Tarqui Centro	Tarqui	F.S. + H.A.	605.1
21	Tutupali	Tarqui	F.S. + F.A.	41.5

F.S. Fosa Séptica

A. Anaerobios

H.A. Humedales Artificiales

D. Desinfección

F.A. Filtro Anaerobio

B. Biofiltros

--- Información no disponible

Fuente: Adaptado de ETAPA EP, (2018); Rodas, (2018).

2.3. SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA.

Elegir una tecnología no es fácil, pero la correcta selección reduce el riesgo de futuras fallas. Como tal, la "tecnología apropiada" es la tecnología que es económicamente asequible, ambientalmente sostenible y socialmente aceptable (Massoud et al., 2009).

Muchos factores entran en el aspecto económico, por lo tanto, se debe considerar la densidad poblacional, ubicación y eficiencia de la tecnología en comparación con su costo (Massoud et al., 2009). Se debe realizar una evaluación de la rentabilidad del sistema seleccionado teniendo en cuenta el costo de capital para la planificación y construcción, costos de operación y mantenimiento, y, el valor de la tierra utilizada (Ho, 2005).



Para que un sistema de tratamiento de aguas residuales sea ambientalmente sostenible, debe garantizar la protección ambiental, la conservación de los recursos y la reutilización del agua, así como el reciclaje de nutrientes cuando el agua residual lo amerite (Ho, 2005).

El aspecto social se relaciona con factores locales que pueden afectar directamente la operación y el mantenimiento de un determinado sistema. Estos incluyen hábitos y estilo de vida de la comunidad, la protección de la salud pública, políticas y regulaciones gubernamentales, así como la aceptación pública (Ho, 2005).

En general, los factores para la selección de una tecnología de un sitio determinado son el rendimiento, las condiciones del sitio y la caracterización del agua residual (fuente, flujo promedio diario, flujos máximos y variabilidad estacional) (Massoud et al., 2009).

2.3.1. Costos operacionales y de consumo de energía.

Con respecto a los costos operacionales (USD/m³), estos son más altos para instalaciones muy pequeñas, esto debido a los altos salarios del personal y el equipo electromecánico con requisitos de energía sobreespecificados, debido a limitaciones de tamaños disponibles en el mercado. Sin embargo, no hay diferencias claras al comparar el mismo proceso con rangos de flujo medio y grande. El conocido concepto de economía de escala reduce los costos normalizados para instalaciones más grandes (Noyola et al., 2012).

El uso de la energía está directamente relacionado con las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) debido a la quema de combustibles fósiles para la generación de electricidad. Como consecuencia, las tecnologías intensivas en energía para el tratamiento de aguas residuales contribuyen a las emisiones de GEI y al calentamiento global. Con base en los conceptos de sostenibilidad, la selección de tecnologías de tratamiento debe tener en cuenta los impactos ambientales directos e indirectos bajo una perspectiva amplia, no solo el cumplimiento de la calidad del efluente y los costos operativos y de capital (Noyola et al., 2012).

En la Tabla 3 se muestran valores de eficiencias y costos operacionales de tecnologías comúnmente usadas en sistemas descentralizados de aguas residuales.



Tabla 3

Eficiencia y costos operacionales del tratamiento de aguas residuales por tecnología.

Tecnología	Capacidad	Unidades	Eficiencias [%]							Costos	
			DBO ₅	DQO	SS	NH ₃ -N	NT	PT	CT/CF	O&M	Unidades
Fosa séptica	---	---	30 - 35	25 - 35	55 - 65	<30	<30	<35	---/< 1 log	0.5 - 1	US\$/hab.año
Filtro anaerobio	---	---	40 - 95	30 - 80	---	30 - 40	30 - 40	10 - 50	---	---	---
Reactor (USAB)	---	---	60 - 75	55 - 70	65 - 80	<50	<60	<35	---/1 - 2 log	1 - 1.5	US\$/hab.año
Humedales Artificiales	---	---	---	>80	>80	20 - 30	30 - 50	10 - 20	---/2 log10	1 - 1.5	US\$/hab.año
	---	---	---	72	86	---	33	48	---	0.13	US\$/m ³
	Horizontales	360	p.e	93	89	95	41	37	46	---	---
	---	1500	p.e	---	---	---	---	---	---	34312	US\$/año
	Verticales	124	p.e	---	>90	>90	>90	<20	10 - 20	---/2 - 4 log10	1 - 1.5
	---	98	p.e	---	---	---	---	---	---	76	US\$/p.e.año
	---	100	p.e	---	---	---	---	---	---	37	US\$/p.e.año
	---	---	---	55 - 80	60 - 98	---	30 - 70	20 - 60	---	3595	US\$/year
Bioreactor de membrana (MBR)	---	---	---	90 - 99	---	~100	81	93	---	---	---
	---	400	m ³ /d	---	70 - 90	85 - 99	---	50 - 90	20 - 70	---	63840
Sistema de retención de biomasa (BCR) (Filtro 5 - 20 µm)	1500	p.e	---	---	---	---	---	---	---	33250	US\$/año
	---	---	---	93 - 97	90 - 95	~100	75 - 79	---	---	---	---
Fosa séptica + filtro anaerobio	---	---	80 - 85	70 - 80	80 - 90	<45	<60	>35	---/1 - 2 log	2.5 - 4	US\$/hab.año
Lagunas facultativas aireadas	---	---	75 - 85	65 - 80	70 - 80	<30	<30	<35	---/1 - 2 log	2 - 3.5	US\$/hab.año

Fuente: Adaptado de Capodaglio et al., (2017); Dotro et al., (2017); Masi et al., (2013); Molinos-Senante et al., (2012); Singh et al., (2015); Sperling, (2007).



2.4. PROCESOS DE DEPURACIÓN.

La aplicabilidad de estas tecnologías depende de las condiciones climáticas, la cantidad de carga a tratar y la disponibilidad de terrenos; así también los principales factores para inclinarse por su uso son: la eficiencia buscada, los requisitos de operación y mantenimiento, y que sean económicamente favorables (Noyola et al., 2013).

Como se pudo observar en la Tabla 2, ETAPA ha optado por normalizar un tipo de sistema para el tratamiento de aguas residuales: fosas sépticas y filtros anaerobios. A continuación se detalla la tecnología existente en cada planta.

- Sin tratamiento preliminar, tratamiento primario con fosas sépticas de 1 y 2 cámaras, construidas con hormigón armado. Tratamiento secundario con filtros anaerobios de flujo ascendente y grava de 5 a 10 cm como material filtrante (PTARs de El Chorro, Guabo, Macas y Pueblo Nuevo).
- Con un tratamiento preliminar ya sea de cribado a través de rejillas con una separación de 2 y 9 cm o sedimentador. Fosas sépticas de 2 y 4 cámaras elaboradas de hormigón, con filtros anaerobios de flujo ascendente de igual material y grava como material filtrante de 5 y 10 cm (PTARs de Achayacu, Bella Unión, Cumbe, Laureles, Quingeo, San Pedro y Tutupali).
- Tratamiento preliminar con cribado a través de rejillas con una separación de 2 y 3.5 cm seguido de sedimentadores. Tratamiento primario con fosas sépticas de dos cámaras y con tratamiento secundario de filtros anaerobios de flujo ascendente con un material filtrante de grava de 5 y 10 cm (PTARs de Cementerio, Escaleras y San Gabriel).
- Sin tratamiento preliminar, con fosa séptica de tres cámaras como tratamiento primario y un humedal artificial de flujo libre como tratamiento secundario en el sistema de Soldado.
- Tratamiento preliminar con cribado a través de rejillas con una separación de 2 cm seguido de sedimentadores. Fosas sépticas de dos y cuatro cámaras como tratamiento primario y con un tratamiento secundario de dos humedales artificiales en paralelo de flujo libre (PTARs de Churuguzo, Monjas, Octavio Cordero y Tarqui).



- Un sistema con cribado a través de una rejilla, con una separación de 2 cm como tratamiento preliminar. Seguido de tres reactores UASB para el tratamiento primario y con tres filtros anaerobios de flujo ascendente conectados a la salida de cada reactor. Filtros que utilizan grava de 5 y 10 cm como material filtrante (Planta de Quillopungo).



CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1. DISEÑO METODOLÓGICO.

El presente trabajo es una investigación con diseño longitudinal, de tipo correlacional-explicativo, con un método hipotético deductivo y una metodología cuantitativa, realizada en la empresa ETAPA EP, específicamente en 21 plantas funcionales de tratamiento de aguas residuales del área rural de la ciudad de Cuenca. Para esto, se obtuvo información necesaria por medio de la recopilación de datos existentes en informes de mantenimiento de las plantas, resultados de análisis de muestras de aguas residuales de cada uno de los sistemas, además de entrevistas al personal (Supervisor, Inspector, etc.) para estimar el presupuesto y la cantidad de insumos utilizados en cada mantenimiento.

Con la información recopilada se realizó un análisis financiero y correlacional explicativo sobre el comportamiento entre el número de mantenimientos realizados a cada planta y la eficiencia de remoción obtenida en cada una, considerando el costo de mantenimiento. Dicho análisis incluye costos del personal según el tiempo invertido, materiales, vehículos, herramientas e insumos utilizados, es decir, el importe horario de cada rubro involucrado en un mantenimiento.

Así mismo, el estudio financiero abarcó un análisis de escenarios que involucró un nuevo sistema, la reparación y continuidad de los existentes en función del costo involucrado en la operación y mantenimiento.

3.2. ÁREA DE ESTUDIO.

Cuenca es uno de los quince cantones pertenecientes a la provincia del Azuay, zona centro sur del Ecuador. Su rango altitudinal está entre 2.350 y 2.550 m.s.n.m., su clima es templado y su temperatura media anual oscila entre 13 y 19°C. Está constituida por 15 parroquias urbanas y 21 rurales que conforman un área de 331.664 ha, distribuidas de la siguiente manera: 312.880 ha en el sector rural, 12.013 ha en la zona de influencia periurbana y 6.771 ha en la parte urbana (Bermeo Moyano, 2013). Según el censo del año 2010, la población de

Cuenca es de 505.585 habitantes y se dividen de la siguiente manera: 329.928 habitantes en la zona urbana y 175.657 en el sector rural (INEC, 2010).

Las 21 plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) a cargo de ETAPA EP se encuentran en el sector rural de la ciudad, en las parroquias de Tarqui, Santa Ana, Victoria del Portete, Sidcay, Quingeo, El Valle, Chaucha, Molleturo, Octavio Cordero Palacios y Soldados (Figura 1).

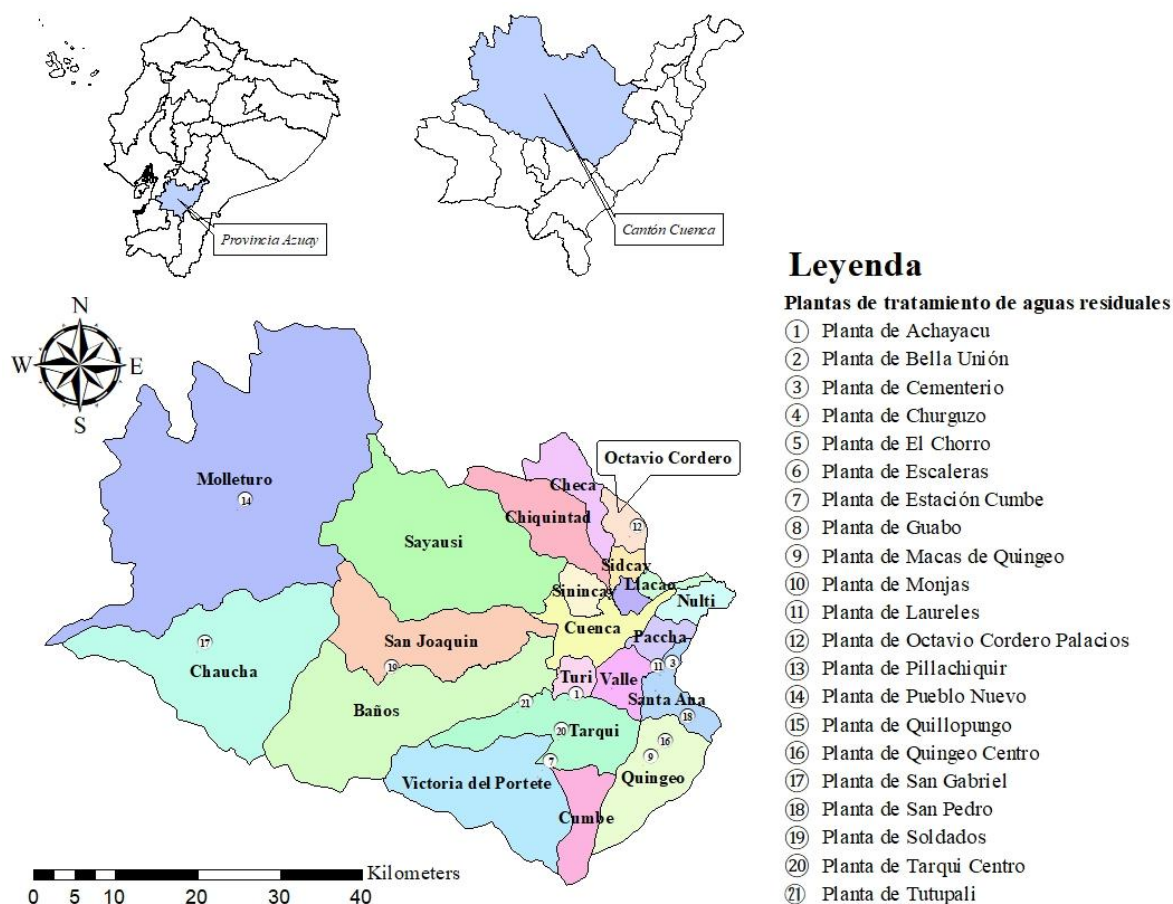


Figura 1.- Mapa de localización de las plantas de tratamiento de aguas residuales del sector rural.

Elaboración: A. Yunga, (2018).

3.3. HABITANTES ATENDIDOS.

Se realizó el cálculo de habitantes con el fin de conocer cuál es la población atendida por cada sistema. Para lo cual se empleó una herramienta de información geográfica (ArcMap v.10.2.2. USA) con información de las densidades poblacionales proyectadas hasta el año



2040, el documento proporcionado por ETAPA “Catastro Alcantarillado” albergaba las redes de alcantarillado de la ciudad y la ubicación de las plantas, que se analizaron en el software en mención, el resultado del análisis arrojó el número de habitantes atendidos para todos los sistemas.

3.4. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS.

3.4.1. Recopilación de datos.

Para la obtención de datos se realizaron 12 entrevistas al personal encargado del mantenimiento de las PTAR rurales. El objetivo de la entrevista fue conocer el cargo que desempeñan, la remuneración por su labor, los insumos utilizados en los mantenimientos, además del periodo de tiempo que invierten por mantenimiento en cada planta (Anexo A).

Se obtuvo la información de los mantenimientos dados diariamente a los diferentes sistemas a partir de los informes generados por los operadores. Esta información fue tomada de los años 2015, 2016, 2017 y 2018.

Se contó además con los resultados de los análisis de las caracterizaciones de los sistemas, información provista por la Ing. Verónica Rodas, supervisora encargada de las plantas de tratamiento del sector rural.

3.4.2. Análisis de datos.

Una vez recopilada la información, los datos fueron organizados en hojas de cálculo, usando el software Microsoft Excel (USA) (Anexo C).

Esto se realizó con el fin de determinar la cantidad de mantenimientos dados mensualmente durante los últimos tres años de cada uno de los sistemas. También, la cantidad de insumos usados por un mantenimiento y el costo del tiempo invertido por cada uno de los operarios de las plantas, usando una relación de 22 días de trabajo al mes.

Obteniéndose de esta manera los valores del costo por personal, insumos (gasolina, cal, envases) y de vehículo por kilómetro recorrido. Generando así el coste por mantenimiento dado. Además, a este valor obtenido se añadió el precio del m³ de lodos residuales tratados en la planta de Ucubamba.



El resultado del análisis de las caracterizaciones de las plantas fue determinar las eficiencias de remoción de 9 parámetros medidos (DBO₅, DQO, fósforo total, nitrógeno orgánico, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, sólidos totales, coliformes fecales y coliformes totales) de los diferentes sistemas.

Utilizando las concentraciones del afluente y efluente de las caracterizaciones realizadas en los años 2015, 2016 y 2017 que fueron aproximadamente entre 4 y 24 caracterizaciones por sistema y por parámetro. Seguidamente se procedió a emplear la fórmula de porcentaje de la eficiencia de remoción (ecuación (1)) en todos los sistemas.

$$\%R = \frac{\alpha - \beta}{\alpha} \times 100 \quad (1)$$

Donde %R es el porcentaje de la eficiencia de remoción, α es la concentración del parámetro en el afluente y β es la concentración del parámetro en el efluente.

3.4.2.1. Proyección de mantenimientos.

Con los datos de mantenimientos recopilados se realizó una proyección, con el objetivo de conocer cuál sería el aumento a futuro de los mismos. Se tomó el número de mantenimientos de todas las plantas y se obtuvo un promedio anual, se procedió ajustar los promedios obtenidos con una tendencia lineal para así encontrar un valor porcentual y asumirlo como porcentaje de crecimiento anual para cada uno de los sistemas, teniendo en cuenta el periodo de diseño y tiempo de operatividad restante de cada uno.

Una vez obtenido el aumento de mantenimientos, se utilizó los valores de inflación de los últimos cinco años de la base de datos del INEC y se realizó un promedio de la inflación anual del 2013 al 2015. Los porcentajes de los años 2016 y 2017 no fueron considerados, en vista de lo irregular de la economía del país por situaciones externas y desastres naturales.

Con base en este criterio, se logró obtener los costos que significarían en el futuro mantener el escenario actual de los mantenimientos en las PTAR.

3.4.2.2. Correlación.

Las variables fueron correlacionadas en pares de la siguiente manera: Eficiencia vs Número de mantenimientos, Eficiencia vs Costos, Eficiencia vs Tiempo de operatividad, Eficiencia



vs Habitantes atendidos, Número de mantenimientos vs Tiempo de operatividad, Número de mantenimientos vs Habitantes atendidos y Número de mantenimientos vs Costos. Se estableció esta configuración de tal manera que se relacionen directamente los mencionados factores con el objetivo de entender el comportamiento de los mismos.

Para estimar la correlación se usó el software estadístico R y su interfaz R Studio versión 3.5.1.

3.4.3. Análisis financiero de operación y mantenimiento.

3.4.3.1. Costo de Operación y Mantenimiento (CO&M).

El propósito del presente estudio es comparar la factibilidad económica de la continuidad de operación y mantenimiento que se le da a los sistemas, con la reparación de todos los sistemas y la implementación de una nueva planta. Esta metodología de análisis se basa en el cálculo del costo de operación y mantenimiento (CO&M) para cada uno de los sistemas, y se argumentó que es igual a la multiplicación del número de mantenimientos en ese periodo por el costo de un mantenimiento, como se puede apreciar en la ecuación (2).

$$CO\&M = m. \$m \quad (2)$$

Donde CO&M es el costo de operación y mantenimiento, m es el número de mantenimientos en el año y \$m es el valor del costo por un mantenimiento dado.

3.4.3.2. Valor actual (VA).

El valor actual neto (VAN) se define como el valor presente de un flujo de efectivo. En el caso de trabajar sólo con costos se utilizó el término de Valor Actual (VA), el mismo que se estimó como la sumatoria de valores actuales de los flujos de costos anuales de operación y mantenimiento, así como de inversión en los casos que se requerían.

Para las 21 plantas de tratamiento de aguas residuales, considerando su diferente tiempo de vida remanente, el VA es igual a la suma de los costos operativos en diferentes periodos de tiempo, descontados con una tasa del 8%, la misma que además corresponde al banco de Desarrollo (BCE, 2018).)



El VA se calcula como una función del CO&M y la tasa de descuento, como se muestra en la ecuación (3) (Maldonado Arias, 2006; Maurer, 2009; Molinos-Senante et al., 2012; Molinos-Senante et al., 2011).

$$VA = \sum_{t=0}^n \frac{CO\&M_n}{(1 + d)^n} \quad (3)$$

Donde VA es el valor actual del flujo de costos; CO&M es el costo de operación y mantenimiento en el tiempo n; d es la tasa de descuento y, n es el tiempo remanente del proyecto. **Nota:** En el caso de los escenarios que incluyeron inversión, en la fórmula se sumó al CO&M el costo de inversión.

3.4.3.3. Análisis del costo de implementación de la medida.

El costo total (CT) de la medida se define en la ecuación (4):

$$CT = CI + CO\&M \quad (4)$$

Donde CT es el costo total, CI el costo de inversión, y CO&M el costo de operación y mantenimiento.

El costo de la medida debe ajustarse al período de tiempo en el que ocurre. Para esto el CO&M debe descontarse en términos de valor presente (Molinos-Senante et al., 2012; Molinos-Senante et al., 2011). Por lo tanto, el Costo Anual Equivalente (CAE) se obtiene calculando la anualidad del valor actual de los costos (Maldonado Arias, 2006) (véase ecuación (5)):

$$CAE = \frac{VA(1 + d)^ni}{(1 + d)^n - 1} \quad (5)$$

Donde CAE es el costo anual equivalente; VA es el valor actual del flujo de costos; d es la tasa de descuento y, n es tiempo remanente del proyecto.



3.5. MANTENIMIENTO DE LOS SISTEMAS.

Las PTAR descentralizadas manejadas por ETAPA han tenido varios inconvenientes para su operación y mantenimiento a lo largo de los años. Por esta razón se busca mejorar la gestión de la O&M de los sistemas. Para ello, se propone las siguientes actividades con el objetivo de favorecer a la O&M de las plantas descentralizadas (Tabla 4).

Tabla 4

Frecuencia de mantenimientos.

Proceso	Actividades	Frecuencia
Rejillas	Limpieza manual de rejillas, retirando el material suspendido.	Mensualmente
Sedimentador	Verificación del grado de sedimentación.	Mensualmente
	Retiro de arenas y sedimentos.	Anual
Fosa Séptica	Succión de lodos.	2 - 5 años
Filtro Anaerobio	Revisión de material filtrante.	6 y 9 meses
Humedal	Extracción de basuras.	Mensualmente
Artificial	Poda de totora.	Semestralmente

Fuente: Adaptado de MOVILLA QUINTERO, (2012).



CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

El siguiente capítulo presenta los resultados obtenidos a partir de la metodología descrita en el capítulo anterior. Específicamente, se analiza los costos que representa la O&M de los sistemas; además, se analiza el comportamiento histórico de las eficiencias de remoción de 9 parámetros y el cumplimiento de la normativa ecuatoriana con respecto a descargas a los cuerpos de agua dulce; también se analiza la relación que presenta la eficiencia vs número de mantenimientos, habitantes atendidos, tiempo de operatividad y costos anuales. Finalmente, se analiza 3 escenarios que son: (i) la continuidad de los mantenimientos, (ii) la reparación de las plantas existentes y, (iii) inversión para la construcción de una nueva planta.

- **Primer escenario.-** Continuidad de los mantenimientos.- Se analiza los costos que representan los mantenimientos de los sistemas de forma anual que posteriormente fueron extrapolados al tiempo de vida útil restante de las plantas y saber cuál sería el costo que representaría en el presente seguir con los mantenimientos.
- **Segundo escenario.-** Reparación de las plantas existentes.- Plantea una inversión para la reparación de las plantas junto con una reestructuración de las actividades de O&M.
- **Tercer escenario.-** Construcción de una nueva planta.- Examina la rentabilidad de una inversión para la construcción de un nuevo sistema con un régimen adecuado para la O&M.

4.1. ANÁLISIS DE LOS COSTOS EN LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS PTARS.

En la Tabla 5 se observa el resultado del análisis de costos por mantenimientos realizados a los 21 sistemas. Se muestra que la principal contribución del costo total son los salarios del personal (inspector y cuadrillas) siendo estos los encargados de la remoción de basuras, sedimentos y lavado de los filtros anaerobios. Este porcentaje, en promedio, tiende a ser mayor a 53%. Razón por la cual los valores encontrados por mantenimiento dado en cada planta se muestran similares en 17 sistemas, presentando costos entre 88.05 y 112.67 USD. No así, con los 4 sistemas restantes (61.70 y 76.47 USD) por un mantenimiento completo.



La segunda contribución más grande es el costo por el transporte de lodos en vehículos limpiadores cisterna (*hidrocleaners*) que muestra un promedio mayor a 30% del costo total. Estos lodos extraídos de los pequeños sistemas descentralizados son transportados a la planta de tratamiento de Ucubamba para recibir tratamiento adicional. La descarga constante de lodos anaerobios en las lagunas de tratamiento de la planta de Ucubamba, a largo plazo afectará a la misma, por la acumulación de estos y por lo tanto también a la eficiencia del tratamiento global. El lodo acumulado se elimina mediante un sistema de dragado y deshidratación que representa un costo adicional, no cuantificado en la O&M de los sistemas. Sin embargo las plantas de San Gabriel y Soldados no presentan este servicio por falta de acceso (vehículos muy grandes).

Por otra parte, el porcentaje de costo que implica los salarios de supervisor y chofer es relativamente bajo, siendo directamente proporcional al aporte que estos dan a los mantenimientos. Encontrándose que representan el 6% en 20 de los sistemas, a diferencia de la planta de San Gabriel que muestra un porcentaje del 50%, debiéndose principalmente a que ellos son los encargados del mantenimiento de la planta.

Referente a los vehículos, las plantas de San Gabriel (20%) y Pueblo Nuevo (13%) tienen el mayor porcentaje de costo. Para calcular estos valores se consideró la cantidad de combustible utilizado por los vehículos y la ubicación de la planta, ya que al encontrarse a una mayor distancia (>70km) en comparación con las otras (entre 8 y 30 km) los costos incrementan por el mayor consumo de combustible. Las plantas cercanas, presentan porcentajes bajos que se encuentran entre el 4% y 5%.

Tabla 5

Costo total por trabajo de mantenimiento y Costo individual de mantenimiento, insumos y vehículos en cada planta de tratamiento de aguas residuales.

Sistema	Costo del personal por mantenimiento [%]			Insumos [%]	Vehículos ^a [%]	Costo total por mantenimiento [USD]
	Supervisor/ Chofer	Trabajadores	Transporte de lodos			
Achayacu	5	53	35	4	3	92.44
Bella Unión	6	55	33	2	4	88.05
Cementerio	6	55	33	4	3	88.75
Churuguzo	4	43	45	3	4	112.67



El Chorro	7	67	20	2	4	72.83
Escaleras	6	54	32	4	5	90.51
Estación	6	54	32	4	4	89.95
Cumbe	5	52	35	3	4	93.40
Guabo	6	55	33	4	3	88.53
Laureles	6	54	32	4	6	91.27
Macas de	5	52	35	3	5	97.23
Quingeo	7	66	20	2	5	76.47
Monjas	6	55	33	2	5	89.46
Octavio	5	50	29	3	13	98.60
Cordero	6	53	36	4	2	91.57
Palacios	5	51	34	3	5	94.93
Pillachiquir	50	27	0	3	20	62.23
Pueblo Nuevo	6	55	33	2	4	88.33
Quillopungo	8	79	0	5	7	61.70
Quingeo	5	47	42	3	3	104.39
Centro	6	55	33	4	3	89.21
San Gabriel						
San Pedro						
Soldados						
Tarqui Centro						
Tutupali						

Nota. ^a Corresponde únicamente al valor derivado por combustible.

Fuente: ETAPA EP, (2018).

Elaboración: A. Yunga, (2018).

Se presentaron inconvenientes en la obtención de datos referentes al costo de mantenimiento de vehículos, por lo que se omitió este rubro del cálculo expuesto en la Tabla 5. Los resultados presentados en esta no pueden considerarse reales sin este rubro. No obstante, se realizaron los cálculos correspondientes para aproximarse lo más posible a la realidad.

4.1.1. Obtención de número de mantenimientos y costos anuales 2015 - 2017.

En la Tabla 6 se encuentran el número de mantenimientos y costos anuales por cada planta en los últimos tres años. Se observa que la planta con mayor cantidad de mantenimientos es Quillopungo, con un promedio de 140 y, por lo tanto, la que más dinero ha gastado (12,816.23 USD). Sin embargo, el sistema con el costo más elevado por mantenimiento es la de Churuguzo (112.66 USD) seguida por la de Tarqui Centro (104.39 USD). Esta variación se



debe a que el costo del rubro de vehículos es mayor, lo que aumenta el costo por mantenimiento.

Por el contrario, El chorro y San Gabriel son las que menos mantenimientos han recibido, en promedio tienen 3 y 4 mantenimientos respectivamente por año y, por lo tanto, su costo es menor. La razón de esto sería su ubicación, ya que al haber una mayor distancia la movilización hasta ellas se dificulta y no se realizan mantenimientos seguidos como en aquellas que se encuentran más cercanas.

Tabla 6

Costo de mantenimientos en los últimos 3 años por planta.

Sistema	Promedio del número de mantenimientos 2015 - 2017	Promedio del costo por mantenimiento 2015 - 2017	Promedio del costo anual de mantenimientos 2015 - 2017
Achayacu	19	92.44	1,795.96
Bella Unión	31	88.05	2,846.38
Cementerio	46	88.76	4,146.68
Churuguzo	52	112.66	5,989.50
El Chorro	3	72.82	247.08
Escaleras	28	90.51	2,529.83
Estación Cumbe	16	89.95	1,449.88
Guabo	30	93.40	2,843.96
Laureles	43	88.54	3,784.94
Macas de Quingeo	22	91.28	2,035.75
Monjas	11	97.23	1,097.14
Octavio Cordero Palacios	14	76.47	1,088.05
Pillachiquir	14	89.46	1,289.29
Pueblo Nuevo	7	98.60	679.89
Quillopungo	140	91.57	12,816.23
Quingeo Centro	45	94.93	4,301.52
San Gabriel	4	62.23	255.88
San Pedro	32	88.33	2,905.92
Soldados	9	61.69	564.28
Tarqui Centro	52	104.39	5487.76
Tutupali	24	89.21	2222.42

Fuente: ETAPA EP, (2018).

Elaboración: A. Yunga, (2018).

La cantidad del personal involucrado en las actividades de operación y mantenimiento es la misma en prácticamente todos los sistemas, con excepción de San Gabriel y Soldados. Como



se observó en la Tabla 6 y se muestra en la Tabla 7, el número de mantenimientos no tiene relación alguna con el tamaño de las plantas de tratamiento, es decir los trabajos de mantenimiento realizados se basan principalmente en un cronograma (que se ha generado sin tomar en cuenta las verdaderas necesidades de los sistemas.), más no por una acción requerida de los sistemas.

Así también, se puede notar que no hay relación alguna entre la cantidad de habitantes atendidos por las plantas y las descargas de las mismas, notándose un excedente de caudal, especialmente en parroquias agrícolas en las que se encuentran ubicados los sistemas como son: Octavio Cordero Palacios, Victoria del Portete, Tarqui y Santa Ana.

Esto es diferente para algunos de los sistemas (Macas, Bella unión, Laureles, San Pedro, Cumbe, Cementerio, Tarqui y Quillopungo), que presentaron un déficit en la cantidad de agua a tratar según su población atendida.

En la Tabla 7 se hallan los valores del costo que representa la O&M de las plantas por habitante anual, se observa que las cifras varían entre 0.56 y 11.72 USD, las mismas que no se relacionan con la configuración que los sistemas tienen (véase Tabla 10).

Tabla 7

Número de habitantes atendidos y cantidad de caudal tratado por los sistemas de depuración.

Sistema	Habitantes atendidos	Descarga [l/s]	Costo anual por m ³ [USD]	Costo anual por habitante [USD]	Agua tratada [m ³ /d]	Agua enviada [l.hab/d]	Caudal Supuesto ^a [m ³ /d]	Caudal Excedente ^b [m ³ /d]
El Chorro	282	1.53	0.16	0.88	132.19	468.77	33.84	98.35
Guabo	371	0.59	4.82	7.67	50.98	137.40	44.52	6.46
Macas de Quingeo	294	0.13	15.66	6.92	11.23	38.20	35.28	-24.05 ^c
Pueblo Nuevo	1216	---	---	0.56	---	---	145.92	---
Soldados	173	---	---	3.26	---	--	20.76	---
Achayacu	753	1.55	1.16	2.39	133.92	177.85	90.36	43.56
Bella Unión	944	0.43	6.62	3.02	37.15	39.36	113.28	-76.13 ^c
Laureles	800	0.16	23.66	4.73	13.82	17.28	96	-82.18 ^c
Pillachiquir	---	---	---	---	---	---	---	---
Quingeo Centro	367	0.91	4.73	11.72	78.62	214.23	44.04	34.58
San Pedro	313	0.25	11.62	9.28	21.6	69.01	37.56	-15.96 ^c
Tutupali	516	1.34	1.66	4.31	115.78	224.37	61.92	53.86



Estación	452	0.24	6.04	3.21	20.74	45.88	54.24	-33.50 ^c
Cumbe								
Cementerio	856	1.00	4.15	4.84	86.4	100.93	102.72	-16.32 ^c
Escaleras	505	0.83	3.05	5.01	71.71	142.00	60.6	11.11
San Gabriel	193	---	---	1.33	---	---	23.16	---
Churuguzo	955	3.29	1.82	6.27	284.26	297.65	114.6	169.66
Monjas	---	---	---	---	---	---	---	---
Octavio								
Cordero	307	5.39	0.20	3.54	465.70	1516.93	36.84	428.86
Palacios								
Tarqui								
Centro	3489	1.26	4.36	1.57	108.86	31.20	418.68	-309.82 ^c
Quillopungo	1759	1.83	7.00	7.29	158.11	89.89	211.08	-52.97 ^c

Nota. ^a Suposición de la cantidad de agua que debería ser tratada por las plantas, tomando en cuenta el número de habitantes atendidos y los 150 l.hab/d en climas fríos, con un desperdicio del 80% (Nawaz & Waya, 2014). ^b El excedente es la diferencia de la cantidad de agua tratada y el supuesto. ^c Los valores negativos serán considerados como déficit de caudal tratado.

Fuente: ETAPA EP, (2018).
Elaboración: A. Yunga, (2018).

4.2. ANÁLISIS DE LAS CONCENTRACIONES ENTRANTES/SALIENTES Y EFICIENCIAS DE REMOCIÓN DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO.

En la Tabla 8 se muestra la concentración contaminante de entrada a los sistemas como son: demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO), fósforo total (PT), nitrógeno orgánico (N-Org), sólidos sedimentables (SS), suspendidos y totales (SST y ST), coliformes totales y fecales (CT y CF). Se observa que el afluente de la DBO₅ varió entre 32.50 y 1019.50 mg/L, mientras que la DQO sus valores oscilan en un rango de 91 y 4736.11 mg/L. De igual manera sucede con el PT que se encontró entre 1.03 y 16.67 mg/L, en tanto el N-Org presente varió entre 5.26 y 365.15 mg/L.

Continuando con la Tabla 8, se aprecia las concentraciones de entrada de los SS que se hallaron entre 0.38 y 134.04 mg/L, del mismo modo los valores de los SST variaron entre 43.75 y 4497.47 mg/L. Finalmente los sólidos totales con una oscilación entre 163.33 y 4929.88 mg/L.

Los coliformes registraron una variación entre 1.72×10^6 y 1.16×10^8 , NMP/100 ml, mientras tanto las coliformes fecales (CF) variaron entre 5.75×10^5 y 6.68×10^7 NMP/100 ml.



Tabla 8

Concentración de contaminantes en el afluente de las plantas de tratamiento de aguas residuales.¹

Sistema	DBO ₅ _E [mg/L]	DQO_E [mg/L]	PT_E [mg/L]	N- Org_E [mg/L]	SS_E [mg/L]	SST_E [mg/L]	ST_E [mg/L]	CT_E [NMP/100 ml]	CF_E [NMP/100 ml]
Achayacu	233.00	566.67	4.17	27.36	5.75	484.80	716.00	1.16E+08	1.24E+07
Bella Unión	414.60	1127.60	11.61	82.88	10.80	776.50	1270.00	3.74E+07	2.14E+07
Cementerio	315.68	745.80	7.80	35.67	3.75	466.40	1093.09	8.36E+07	1.16E+07
Churuguzo	319.42	688.17	4.90	50.96	8.23	626.42	1051.25	1.97E+07	1.45E+07
El Chorro	700.00	1996.67	13.57	33.16	41.50	181.50	2527.33	1.40E+07	1.40E+07
Escaleras	546.00	4736.11	12.52	157.63	39.69	3729.78	4453.89	6.26E+07	6.22E+07
Estación Cumbe	175.67	456.00	9.57	22.93	0.67	152.67	611.33	2.63E+07	2.13E+07
Guabo	160.00	427.50	3.48	25.83	9.42	409.75	813.08	2.95E+07	1.47E+07
Laureles	337.56	987.00	9.41	32.58	5.87	186.33	1050.30	6.81E+07	6.68E+07
Macas	89.71	242.79	3.25	14.57	1.21	112.79	421.00	5.12E+06	2.47E+06
Monjas	113.00	309.80	4.74	7.47	1.48	65.75	633.60	4.56E+07	2.32E+07
Octavio Cordero Palacios	43.00	127.75	1.32	9.76	0.38	43.75	344.00	7.73E+06	7.20E+06
Pillachiquir	---	1759.00	9.04	30.81	32.00	1050.00	1520.00	---	---
Pueblo Nuevo	32.50	91.00	1.03	17.22	0.85	48.50	173.00	1.72E+06	5.75E+05
Quillopungo	180.76	670.63	6.43	28.63	17.59	1152.58	1764.11	2.77E+07	2.06E+07
Quingeo	130.43	514.69	4.57	21.09	8.34	805.93	1068.63	6.66E+06	4.20E+06
San Gabriel	131.50	385.25	4.71	35.59	4.00	389.00	675.75	9.92E+07	5.26E+07
San Pedro	1019.50	---	16.67	365.15	134.04	4497.47	4929.88	3.05E+07	2.72E+07
Soldados	37.00	104.67	1.33	5.26	0.82	51.67	163.33	6.38E+06	1.76E+06
Tarqui	422.25	1385.42	9.67	76.84	18.87	1050.00	1472.08	7.35E+07	3.24E+07
Tutupali	118.63	297.00	3.24	21.32	1.78	163.71	421.13	4.56E+06	3.57E+06

DBO₅_E: Demanda Biológica de Oxígeno – Entrada

PT_E: Fósforo Total – Entrada

SS_E: Sólidos Sedimentables – Entrada

ST_E: Sólidos Totales – Entrada

CF_E: Coliformes Fecales – Entrada

DQO_E: Demanda Química de Oxígeno – Entrada

N-Org_E: Nitrógeno Orgánico – Entrada

SST_E: Sólidos Suspendidos Totales – Entrada

CT_E: Coliformes Totales – Entrada

---: Información no disponible

Fuente: ETAPA EP, (2018).

Elaboración: A. Yunga, (2018).

En la Tabla 9 se muestra la concentración contaminante al final del tratamiento dado por los sistemas.

¹ Cabe recalcar que las tablas 7, 8 y 9, fueron elaboradas con los datos de las caracterizaciones de agua residual tomadas durante los años 2015, 2016 y 2017, durante este periodo se realizaron entre 4 y 24 análisis en cada sistema. Por lo que para la obtención de los datos de eficiencia se promediaron las concentraciones del afluente y efluente de cada planta.



En la norma de legislación ambiental vigente, presentada en el registro oficial del Ministerio del Ambiente (MAE), para los límites de descargas a un cuerpo de agua dulce se exige que la carga de la DBO₅ y SST no sea mayor a 100 y 130 mg/L, respectivamente. Así, se observa que 20 de las plantas cumplen con el límite estipulado en la normativa oscilando entre 7 y 92 mg/L para la DBO₅, mientras que en los SST varió entre 7.25 y 124 mg/L. No así, con el sistema de Cumbe que presentó una concentración de 153 mg/L de DBO₅ y 132 mg/L de SST, superando los límites máximos permisibles. De igual manera ocurre con el parámetro de PT cuyo límite expresado por la norma es de 10 mg/L y en 20 plantas se encontró entre 0.65 y 5.75 mg/L, mientras que la planta de Pillachiquir lo incumple con una concentración de 32.35 mg/L.

Al igual que el límite máximo permisible para la DQO según la normativa es de 200 mg/L, el cual no se cumple en 7 de los sistemas (Cementerio, Escaleras, Cumbe, Laureles, Pillachiquir, San Pedro y Tarqui) con una variación de 225 y 386.33 mg/L, no obstante el mismo sí se cumple en 14 plantas con una concentración que oscila entre 26.50 y 192 mg/L. También se observa en la Tabla 9 que las concentraciones de salida de los sistemas con respecto a los ST variaron entre 122.50 y 990.63 mg/L, lo que nos muestra que cumplen con la normativa estipulada por el MAE ya que el límite máximo permisible para este parámetro es de 1600 mg/L. Lo que no ocurre con las CF, cuyo límite es de 2000 NMP/100 ml, mientras que las plantas descargan un efluente con una concentración de coliformes fecales que oscila entre 49,500 CF/100 ml y 25 millones de CF/100 ml.

Tabla 9

Concentración de contaminantes en el efluente de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

Sistema/Normativa	DBO ₅ _S [mg/L]	DQO_S [mg/L]	PT_S [mg/L]	N- Org_S [mg/L]	SS_S [mg/L]	SST_S [mg/L]	ST_S [mg/L]	CT_S [NMP/100 ml]	CF_S [NMP/100 ml]
Achayacu	50.20	159.50	3.50	16.82	0.52	79.40	305.17	3.55E+07	9.94E+06
Bella Unión	35.20	183.20	5.75	38.75	0.10	25.25	436.00	5.38E+06	3.78E+06
Cementerio	83.47	259.50	5.35	19.30	0.08	54.05	562.80	1.95E+07	6.51E+06
Churuguzo	50.08	167.67	2.45	7.12	0.07	72.08	302.25	2.07E+06	1.69E+06
El Chorro	35.50	192.00	5.02	29.90	0.17	12.00	502.67	4.90E+06	3.30E+06
Escaleras	48.00	298.33	3.74	11.80	0.07	27.00	421.22	2.16E+07	1.52E+07
Estación Cumbe	153.00	386.33	4.41	22.78	1.03	132.00	502.33	2.60E+07	2.47E+07
Guabo	33.58	98.08	2.60	13.09	0.25	26.75	366.92	8.83E+06	6.34E+06



Laureles	92.00	250.70	5.13	18.58	0.01	31.33	493.40	1.11E+07	8.55E+06
Macas	18.70	58.79	1.87	8.26	0.04	48.57	359.57	1.47E+06	8.44E+05
Monjas	15.33	68.40	3.51	27.01	0.00	11.00	848.00	7.94E+05	4.46E+05
Octavio Cordero Palacios	7.00	26.50	1.06	1.44	0.00	8.00	239.50	4.07E+06	1.87E+06
Pillachiquir	---	225.00	32.35	18.12	0.40	74.00	386.00	---	---
Pueblo Nuevo	16.00	88.00	1.56	11.48	0.90	124.00	241.00	3.60E+05	4.95E+04
Quillopungo	37.41	111.32	2.56	9.08	0.01	27.53	488.05	1.27E+07	6.06E+06
Quingeo	24.81	66.50	1.84	7.59	0.03	9.27	306.56	2.18E+06	1.27E+06
San Gabriel	28.00	76.50	1.66	6.89	0.00	7.25	156.25	2.79E+06	1.19E+06
San Pedro	30.25	233.00	6.56	18.05	0.34	49.73	990.63	1.25E+07	8.70E+06
Soldados	46.50	76.83	0.65	6.91	0.18	20.00	122.50	5.37E+05	5.60E+04
Tarqui	84.92	246.17	5.10	14.44	0.77	61.82	503.75	1.50E+07	1.20E+07
Tutupali	47.86	130.38	2.46	12.11	0.33	52.43	261.00	3.26E+06	3.14E+06
---/Normativa	100.00	200.00	10.00	---	---	130.00	1600.00	---	2000

DBO₅_S: Demanda Biológica de Oxígeno – Salida

PT_S: Fósforo Total – Salida

SS_S: Sólidos Sedimentables – Salida

ST_S: Sólidos Totales – Salida

CF_S: Coliformes Fecales – Salida

DQO_S: Demanda Química de Oxígeno – Salida

N-Org_S: Nitrógeno Orgánico – Salida

SST_S: Sólidos Suspendido Totales – Salida

CT_S: Coliformes Totales – Salida

---: Información no disponible

Fuente: ETAPA EP, (2018).
Elaboración: A. Yunga, (2018).

En la Tabla 10 es posible observar la configuración de las plantas de tratamiento de aguas residuales, obteniéndose como predominante la configuración con fosas sépticas y filtros anaerobios en total 15 de los 21 sistemas, seguido de sistemas con fosas sépticas y humedales artificiales (5) y el caso particular de Quillopungo que es la única planta compuesta por reactores UASB y filtros anaerobios. Como se expresa en la Tabla 7 Tarqui y Pueblo Nuevo son los sistemas más grandes con respecto a la cantidad de habitantes que atienden, sin embargo, Quillopungo es el sistema que exige mayor cantidad de mantenimientos (Tabla 6) y por ende el más costoso de mantener.

En la Tabla 10 también se muestra la eficiencia de remoción de los contaminantes expuestos en la Tabla 8 y Tabla 9.

Así, los sistemas que presentaron una mayor eficiencia de remoción de DBO₅, SST y CF fueron Bella Unión, San Gabriel y Monjas con 90%, 94% y 96%, respectivamente, a diferencia de la planta de Cumbe que mostró un grado de remoción de DBO₅, SST y CF de 21%, 25% y 18%, siendo esta la más baja. De esta manera, en términos generales de remoción



de materia orgánica, suspendida y bacteriológica el sistema más eficiente es Monjas con 86% de eliminación de contaminantes, a diferencia de la planta de Cumbe cuya eficiencia general es de 21%. Sin embargo, con un análisis de varianza no se encontró diferencias estadísticamente representativas entre el tiempo de operatividad de las plantas y las eficiencias que éstas presentaron. Así también, las eficiencias mencionadas no tienen relación alguna con la configuración de los sistemas y la cantidad de habitantes que atienden (Tabla 7).

En promedio, el lapso entre mantenimientos es de 10 días. Este tiende a ser menor en plantas como Quillopungo cuyo periodo es de 5 días aproximadamente.

Además, se observan porcentajes de remoción favorecedores de la eliminación de cargas contaminantes en el efluente, no obstante, los valores de carga contaminante expresados en la Tabla 9 no concuerdan con los porcentajes de eficiencia de la Tabla 10. El porcentaje de remoción de la DQO en plantas como Cementerio, Escaleras, Laureles, Pillachiquir, San Pedro y Tarqui se encuentran entre 51 y 87%, mientras que en la Tabla 9 mencionados sistemas no cumplen con los límites máximos permisibles estipulados en la normativa ecuatoriana. Esta discordancia, entre las cargas contaminantes y porcentajes de eficiencia de remoción se encuentran en 8 de los sistemas, considerando aquellas con valores mayores al 60% en CT y CF.

Tabla 10

Eficiencia de remoción de contaminantes de los sistemas de tratamiento.

Sistema	Configuración	Tiempo de operatividad [Años]	DBO ₅	DQO	PT	N- Org	SS	SST	ST	CT	CF	Eficiencia general ^a
El Chorro	FS-FA	8	62%	56%	52%	10%	67%	82%	45%	65%	76%	73%
Guabo	FS-FA	14	61%	59%	24%	54%	67%	71%	38%	41%	40%	57%
Macas de Quingeo	FS-FA	8	73%	68%	41%	41%	64%	78%	29%	51%	59%	70%
Pueblo Nuevo	FS-FA	8	41%	32%	0%	33%	40%	26%	16%	47%	45%	37%
Soldados	FS-HA	14	74%	52%	44%	10%	61%	64%	28%	94%	60%	66%
Achayacu	CR-FS-FA	14	55%	36%	18%	24%	67%	50%	28%	35%	21%	42%
Bella Unión	CR-FS-FA	14	90%	77%	42%	36%	99%	92%	54%	79%	63%	82%
Laureles	CR-FS-FA	14	70%	66%	34%	39%	78%	72%	46%	40%	45%	62%
Pillachiquir	CR-FS-FA	14	---	87%	0%	41%	99%	93%	75%	---	---	93%
Quingeo Centro	CR-FS-FA	14	70%	76%	36%	58%	99%	91%	45%	65%	62%	74%
San Pedro	CR-FS-FA	8	67%	54%	33%	57%	78%	76%	38%	42%	52%	65%



Tutupali	CR-FS-FA	14	49%	46%	17%	38%	85%	55%	28%	38%	35%	46%
Estación Cumbe	SD-FS-FA	14	21%	18%	47%	3%	33%	25%	16%	32%	18%	21%
Cementerio	CR-SD-FS-FA	14	73%	62%	28%	44%	87%	79%	37%	63%	33%	62%
Escaleras	CR-SD-FS-FA	18	84%	71%	49%	75%	88%	91%	63%	48%	39%	71%
San Gabriel	CR-SD-FS-FA	12	82%	81%	62%	81%	100%	94%	67%	65%	59%	78%
Churuguzo	CR-SD-FS-HA	14	76%	65%	42%	79%	81%	76%	54%	70%	81%	78%
Monjas	CR-SD-FS-HA	2	89%	69%	28%	0%	60%	74%	34%	97%	96%	86%
Octavio Cordero Palacios	CR-SD-FS-HA	2	56%	85%	23%	21%	---	85%	33%	50%	50%	64%
Tarqui Centro	CR-SD-FS-HA	14	53%	51%	40%	61%	73%	63%	43%	70%	73%	63%
Quillopungo	CR-UASB-FA	14	58%	58%	38%	53%	73%	73%	33%	56%	58%	63%

Nota: ^a Eficiencia general corresponde a un promedio en términos de remoción de materia orgánica, suspendida y bacteriológica, utilizada en el índice de calidad de agua. Es básicamente un supuesto para generar una idea de la remoción de los sistemas.

CR: Cribado

FA: Filtro Anaerobio

DBOs: Demanda Biológica de Oxígeno

N-Org Nitrogeno Orgánico

ST: Sólidos Totales

---: Información no disponible

SD: Sedimentador

HA: Humedal Artificial

DQO: Demanda Química de Oxígeno

SS: Sólidos Sedimentables

CT: Coliformes Totales

FS: Fosa Séptica

UASB: Reactor UASB

PT: Fósforo Total

SST: Sólidos Suspendido Totales

CF: Coliformes Fecales

Fuente: ETAPA EP, (2018).

Elaboración: A. Yunga, (2018).

4.3. ANÁLISIS DE ESCENARIOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO (O&M).

En la Tabla 11 se puede observar el tiempo de operatividad que aún tienen las plantas, al igual que el número de mantenimientos que se prevé que los sistemas presenten en el último año de su periodo de diseño y los costos que significarían en el presente seguir con dichos mantenimientos. Por ejemplo, la PTAR de Quillopungo tendría un coste de O&M de 150,873.35 USD, con un aproximado de 25 mantenimientos mensuales, convirtiéndose así en el sistema más costoso de mantener, pues presenta el VA más elevado de todos los sistemas analizados. En la Tabla 11, la PTAR de San Gabriel, aparece como el sistemas con el menor costo de O&M con 7,499.55 USD y 2 mantenimientos en el mes. Se observa también el costo por mantenimiento de los sistemas; así, Pueblo Nuevo es el más caro con un valor de 171.22 USD y como el más económico se encuentra San Gabriel de Chaucha con 77.19 USD por mantenimiento. Estos valores de mantenimiento se atribuyen a la ubicación de las plantas y el personal que interviene en cada mantenimiento. San Gabriel es uno de los sistemas más alejados y por su ubicación no utiliza el servicio de lavado, succión y transporte



de todos de los vehículos cisternas. Por lo tanto, el costo reportado de O&M es el más bajo, únicamente por su ubicación remota y la dificultad de acceso a los servicios con los que cuentan las otras PTAR. Pueblo Nuevo, a pesar de su ubicación, sí requiere este servicio de lavado, que es realizado por un vehículo cisterna pequeño, aumentando el costo por mantenimiento.

La Tabla 11 también muestra los resultados de la evaluación financiera de los sistemas, considerando un periodo de diseño de 22 años, de los cuales el 61% de las plantas ha cumplido alrededor del 60% del tiempo de vida útil.

Además, la Tabla 11 evidencia las deficiencias en la O&M de los sistemas, pues sistemas como Octavio Cordero y Monjas a pesar de su reciente construcción (2 años operando) están demandando más recursos para la O&M que varios de los sistemas antiguos. Por ello, la predicción de mantenimientos revela que las PTAR mencionadas requerirán 111 y 106 mantenimientos respectivamente en su último año de operación. También tendrán un costo total de O&M (VA) de 58 y 53 mil USD respectivamente, cuyo costo total es mayor hasta en un 87% que en sistemas como: Escaleras, Achayacu, Cumbe, Pillachiquir, Soldados, San Gabriel, El chorro y Pueblo Nuevo. Este análisis es una alerta muy clara para la empresa ETAPA, que al momento se encuentra proyectando la reconstrucción de varios sistemas. Esta reconstrucción debe estar acompañada de un plan completamente nuevo de O&M para los sistemas.

Tabla 11

Cálculo del Valor actual, Costo anual equivalente y número de mantenimientos proyectados, según el tiempo de vida remanente de cada planta. Escenario 1.- Continuidad de mantenimientos.

Sistema	Vida útil remanente/Año	Número de mantenimientos proyectados ^a	VA O&M [USD]	CAE O&M [USD]	VA hab [USD]	CAE hab [USD]	Costo por mantenimiento [USD]	Número de mantenimientos mensuales	Costo/hab.año [USD]
Escaleras	5 / 2022	76	27,000.33	8,151.96	2,259.60	682.22	115.15	6	11.95
Achayacu	9 / 2026	92	46,063.60	8,015.75	5,450.82	948.52	133.98	8	8.45
Bella Unión	9 / 2026	164	78,497.54	13,659.73	6,596.08	1,147.81	127.7	14	11.9
Cementerio	9 / 2026	169	81,733.08	14,222.76	5,981.19	1,040.82	128.6	14	13.67
Churuguzo	9 / 2026	177	94,973.05	16,526.71	6,672.94	1,161.19	126.32	15	14.23
Estación Cumbe	9 / 2026	64	31,188.80	5,427.31	3,103.29	540.02	130.15	5	10.05
Guabo	9 / 2026	128	64,804.11	11,276.87	2,783.03	484.29	135.22	11	23.29
Laureles	9 / 2026	136	65,509.38	11,399.60	2,783.03	484.29	128.32	11	11.58



Pillachiquir	9 / 2026	50	23,153.92	4,029.12	---	---	123.46	4	---
Quillopungo	9 / 2026	302	150,873.35	26,254.19	12,509.52	2,176.84	132.85	25	12.06
Quingeo Centro	9 / 2026	139	71,468.69	12,436.61	2,487.29	432.82	137.19	12	28.73
Soldados	9 / 2026	42	13,871.20	2,413.79	1,345.20	234.08	88.76	4	10.31
Tarqui Centro	9 / 2026	161	91,395.42	15,904.15	24,989.01	4,348.46	151.24	13	3.66
Tutupali	9 / 2026	116	56,535.22	9,837.96	3,870.74	673.57	129.2	10	14.61
San Gabriel	11 / 2028	25	7,499.55	1,117.65	1,552.90	231.43	77.19	2	4.83
El Chorro	15 / 2032	25	11,784.27	1,429.40	2,922.39	354.48	127.91	2	4.03
Macas de Quingeo	15 / 2032	96	56,419.34	6,843.49	3,046.74	369.56	159.75	8	18.52
Pueblo Nuevo	15 / 2032	67	42,066.24	5,102.50	11,894.83	1,442.81	171.22	6	3.54
San Pedro	15 / 2032	201	114,353.88	13,870.77	2,975.97	360.98	155.15	17	38.43
Monjas	20 / 2038	106	53,873.31	5,487.12	---	---	152.86	9	---
Octavio Cordero Palacios	20 / 2038	111	58,307.63	5,487.12	4,126.12	420.25	157.92	9	13.06

Nota. ^a Para obtener el número de mantenimientos proyectados se usó un porcentaje de crecimiento anual diferente, que dependió del tiempo de operatividad remanente de cada planta. Así, para los sistemas con tiempos de operatividad remanente de 5, 9, 11, 15 y 20 años se utilizó un porcentaje de crecimiento anual en sus mantenimientos de 15%, 12%, 11%, 10% y 8% respectivamente (Anexo E).

VA: Valor Actual
hab: Habitantes

CAE: Costo Anual Equivalente
---: Información no disponible

O&M: Operación y Mantenimiento

Fuente: ETAPA EP, (2018).
Elaboración: A. Yunga, (2018).

En la Tabla 12 se observa el tiempo de operatividad y el número de mantenimientos que los sistemas podrían requerir en su último año de funcionamiento bajo un escenario que comprende una restructuración de las actividades de O&M. Además, se incluye el costo que significaría la O&M de las plantas considerando una inversión de 71,524.13 USD para la reparación de todos los sistemas.

El resultado del análisis muestra que los valores del VA del segundo escenario (Tabla 12) son menores a los del primer escenario (Tabla 11). La Tabla 12 refleja reducciones entre el 27 y 94% del costo que significaría una mejor gestión en la O&M de las plantas. Por ejemplo, el sistema más costoso que es Quillopungo, en el primer escenario presentó un VA de 150,873.35 USD mientras que en el segundo este valor disminuyó a 20,459.92 USD que representa un 84% menos costoso. Por lo tanto, la reparación de los sistemas en mal estado refleja ser una inversión favorable no sólo para la empresa ETAPA, sino que también para los usuarios atendidos, pues, no sólo disminuye el costo total en la O&M y con ello el número



de mantenimiento de los sistemas, además, esta inversión generaría una reducción de 79% en el pago anual por el servicio que brinda a la población atendida. Se resalta además, que existen importantes beneficios ambientales de mejora de la salud pública al contar con una PTAR en buen estado. Además, el beneficio económico puede ser valorado cuantitativamente; sin embargo, esto no es parte del alcance del presente estudio.

En la comparación de escenarios se observa también una notable disminución en el coste por mantenimiento realizado, en la Tabla 11 se hallan valores por trabajo de mantenimiento entre 77 y 133 USD a diferencia de la Tabla 12, en la cual el rubro por mantenimiento oscila entre 9 y 18 USD, mostrando una reducción mayor a 90%. Esta reducción se logra con una gestión adecuada en la O&M de los sistemas, disminuyendo estas labores de manera sostenible y sobre todo permitiendo que las plantas trabajen a capacidad plena y brindando un servicio eficiente a los usuarios atendidos y al ambiente.

Tabla 12

Cálculo del Valor actual, Costo anual equivalente y número de mantenimientos proyectados, según el tiempo de vida remanente de cada planta. Escenario 2.- Reparación de los sistemas existentes.

Sistema	Vida útil remanente/Año	Número de mantenimientos proyectados ^a	VA O&M [USD]	CAE O&M [USD]	VA hab [USD]	CAE hab [USD]	Costo por mantenimiento [USD]	Número de mantenimientos mensuales	Costo/hab.año [USD]
Escaleras	5 / 2022	18	7,852.71	2,370.90	2,259.60	682.22	9.26	2	3.48
Achayacu	9 / 2026	27	8,100.12	1,409.54	5,450.82	948.52	9.73	2	1.49
Bella Unión	9 / 2026	27	10,622.34	1,848.44	6,596.08	1,147.81	10.00	2	1.61
Cementerio	9 / 2026	27	10,468.76	1,821.72	5,981.19	1,040.82	9.67	2	1.75
Churuguzo	9 / 2026	27	10,924.52	1,901.03	6,672.94	1,161.19	10.67	2	1.64
Estación Cumbe	9 / 2026	27	6,673.29	1,161.25	3,103.29	540.02	10.60	2	2.15
Guabo	9 / 2026	27	9,560.77	1,663.71	2,783.03	484.29	9.67	2	3.44
Laureles	9 / 2026	27	9,575.52	1,666.28	2,783.03	484.29	9.45	2	3.44
Pillachiquir	9 / 2026	27	6,419.59	1,117.10	---	---	10.73	2	---
Quillopungo	9 / 2026	27	20,459.92	3,560.33	12,509.52	2,176.84	9.23	2	1.64
Quingeo Centro	9 / 2026	27	10,129.84	1,762.74	2,487.29	432.82	10.58	2	4.07
Soldados	9 / 2026	27	4,044.48	703.80	1,345.20	234.08	11.12	2	3.01
Tarqui Centro	9 / 2026	27	9,921.33	1,726.46	24,989.01	4,348.46	10.22	2	0.4
Tutupali	9 / 2026	27	8,946.21	1,556.77	3,870.74	673.57	10.19	2	2.31
San Gabriel	11 / 2028	27	5,490.73	818.28	1,552.90	231.43	16.41	2	3.54
El Chorro	15 / 2032	31	5,268.16	639.01	2,922.39	354.48	11.86	3	1.8



Macas de Quingeo	15 / 2032	41	7,274.62	882.39	3,046.74	369.56	13.19	3	2.39
Pueblo Nuevo	15 / 2032	41	7,132.00	865.09	11,894.83	1,442.81	18.61	3	0.6
San Pedro	15 / 2032	41	9,632.64	1,168.41	2,975.97	360.98	12.30	3	3.24
Monjas Octavio Cordero Palacios	20 / 2038	52	3,555.95	362.18	---	---	15.75	4	---
	20 / 2038	52	3,467.04	353.13	4,126.12	420.25	15.04	4	0.84

Nota. ^a Para obtener el número de mantenimientos proyectados se usó un porcentaje de crecimiento anual diferente, que dependió del tiempo de operatividad remanente de cada planta. Así, para los sistemas con tiempos de operatividad remanente de 5, 9, 11, 15 y 20 años se utilizó un porcentaje de crecimiento anual en sus mantenimientos de 15%, 12%, 11%, 10% y 8% respectivamente (Anexo E).

VA: Valor Actual Neto
hab: Habitantes

CAE: Costo Anual Equivalente
---: Información no disponible

O&M: Operación y Mantenimiento

Fuente: ETAPA EP, (2018).
Elaboración: A. Yunga, (2018).

La Tabla 13 muestra el resultado de un nuevo escenario de análisis, considerando una nueva inversión, para una planta valorada en 186,855.42 USD con un período de diseño de 22 años y 1110 habitantes atendidos, que es comparable con los sistemas más grandes existentes. Además, se halla el número de mantenimientos que el sistema requeriría en su último año de funcionamiento.

El análisis del Costo Anual Equivalente (CAE) es útil para la comparación de proyectos con distintos tiempos de vida útil.

En la Tabla 11, plantas como Achayacu, Bella Unión, Cementerio, Churuguzo, Cumbe, Guabo, Laureles, Quillopungo, Quingeo, Soldados, Tarqui y Tutupali tienen el mismo tiempo en operación. Sin embargo, Tarqui (63% eficiencia de remoción) presenta una mejor relación costo-beneficio, pues el costo de O&M anual por habitante atendido es de 3.66 USD en comparación con Guabo (57% eficiencia de remoción), que exige 23.29 USD/hab.año. De igual manera, el sistema de Pueblo Nuevo necesita 3.54 USD/hab.año para su O&M con un porcentaje de remoción de 37%, mientras que San Pedro requiere 38.43 USD/hab.año y presentó un grado de remoción de 65%, con un periodo igual de operación. Demostrando que no existe una relación costo-beneficio similar entre los sistemas.

**Tabla 13***Cálculo del Valor Actual y Costo Anual Equivalente. Escenario 3.- Inversión para una nueva planta.*

Tiempo de vida Útil [Años]	Número de mantenimientos proyectados^a	VA O&M [USD]	CAE O&M [USD]	VA hab [USD]	CAE hab [USD]	Costo/hab.año [USD]
22	41	187,078.53	18,339.70	15,916.90	1,560.37	11.75

VA: Valor Actual
hab: Habitantes

CAE: Costo Anual Equivalente

O&M: Operación y Mantenimiento

Fuente: ETAPA EP, (2018).
Elaboración: A. Yunga, (2018).

La comparación entre la Tabla 11 y Tabla 13 muestra la viabilidad parcial de inversiones para la construcción de nuevos sistemas, pues se observa que esta inversión resulta en un menor costo por habitante atendido para la O&M del sistema, sin embargo, esto sólo ocurre en 11 de las 21 plantas analizadas. Mientras que los 10 sistemas restantes presentan costos entre 3 y 10 USD/hab.año. No obstante, los nuevos sistemas necesitarían un enfoque diferente de O&M que tengan en cuenta características esenciales del funcionamiento de los sistemas, por ejemplo: los procesos de arranque de los sistemas anaerobios que precisan de tiempos prolongados para la generación de biomasa viable.

Al hacer una comparación entre el segundo y tercer escenario (Tabla 12 y Tabla 13, respectivamente), se nota claramente la rentabilidad de la inversión para la reparación de los sistemas, en lugar de la puesta en marcha de uno nuevo. Pues en la Tabla 12 se hallan valores de VA entre 8 y 20 mil USD, mientras que en la Tabla 13 este valor es de 187,078.53 USD. Lo que representa 95% más económico la reparación que la construcción de nuevos sistemas. Para esto, las evaluaciones técnicas que ha realizado ETAPA en los últimos años son el insumo ideal para emprender en las inversiones correctas. De igual manera, el costo anual por habitante atendido en la Tabla 12 oscila entre 0.40 ctvs. y 4 USD/hab.año, que significa 80% más económico que el expuesto en la Tabla 13 (11.75 USD). Esta explicación se resume en la Tabla 14.



Tabla 14

Resumen de análisis de escenarios.

Escenario	Objetivo	Procedimiento	Resultado				
			Sistema	Configuración	VA O&M [USD]	Costo por mantenimiento [USD]	Costo/hab.año [USD]
Primero	Continuidad de mantenimientos	Se analizó los costos que representan los mantenimientos en forma anual y luego se los proyectó al futuro para obtener valores aproximados de lo que se gastaría si los sistemas siguen funcionando de la manera en la que lo han hecho hasta ahora.	Guabo	FS-FA	64,804.11	135.22	23.29
			Bella Unión	CR-FS-FA	78,497.54	127.7	11.9
			Cumbe	SD-FS-FA	31,188.80	130.15	10.05
			Churuguzo	CR-SD-FS-FA	94,973.05	126.32	14.23
			Soldados	FS-HA	13,871.20	88.76	10.31
			Tarqui	CR-SD-FS-HA	91,395.42	151.24	3.66
			Quillopungo	CR-UASB-FA	150,873.35	132.46	12.06
Segundo	Reparación de los sistemas existentes	Se planteó una inversión de 71,524.13 USD para la reparación de las plantas y un plan de mantenimiento y operación reestructurado.	Guabo	FS-FA	9,560.77	9.67	3.44
			Bella Unión	CR-FS-FA	10,622.34	10	1.61
			Cumbe	SD-FS-FA	6,673.29	10.6	2.15
			Churuguzo	CR-SD-FS-FA	10,924.52	10.67	1.64
			Soldados	FS-HA	4,044.48	11.12	3.01
			Tarqui	CR-SD-FS-HA	9,921.33	10.22	0.4
			Quillopungo	CR-UASB-FA	20,459.92	9.23	1.64
Tercero	Construcción de una nueva planta.	Se examinó una inversión de 186,855.42 USD que significaría la construcción de una nueva planta.	Nuevo	CR-SD-FS-HA	187,078.53	9.63	11.75

VA: Valor Actual

O&M: Operación y Mantenimiento

hab: Habitantes

Fuente: ETAPA EP, (2018).
Elaboración: A. Yunga, (2018).

4.4. CORRELACIÓN.

La Tabla 15 muestra que la eficiencia de remoción general de los sistemas, presenta una correlación débil frente al número de mantenimientos (0.15) y los costos (0.2); no obstante, la misma variable evidencia una relación nula con el tiempo de operatividad de las plantas (0.02) y los habitantes que estas atienden (-0.05).

Por otra parte, la relación entre el número de mantenimientos realizados y el tiempo de operatividad de los sistemas muestra una correlación débil (0.3). A diferencia de la relación



entre el número de mantenimientos que presenta una correlación moderada frente a los habitantes atendidos (0.5) mientras que el mismo factor tuvo una relación fuerte con los costos invertidos en la O&M (0.96).

De esta manera, junto con un análisis de varianza se observa que las eficiencias de los sistemas no dependen del tiempo de operatividad y la cantidad de habitantes que atienda, sin embargo, existe una probabilidad moderada que el número de mantenimientos aumente según aumente la población atendida pues es estadísticamente representativo. Además, se evidencia que el incremento del número de mantenimientos aumentará los costos operacionales con una significancia estadística muy alta ($1.2E^{-10}$).

Así, estos valores corroboran los datos explicados anteriormente en la investigación, comprobando que las labores de O&M se realizan bajo un calendario de intervenciones en las plantas que obedece a factores como la ubicación, (cercanía de los sistemas respecto a las oficinas de ETAPA), más no por una acción requerida por aspectos operativos de las plantas o acciones emergentes.

Tabla 15

Coefficiente de correlación de Pearson entre variables.

Relación entre variables	Pearson	Grado	p-value
Eficiencia vs Número de mantenimientos	0.1465	Débil	0.5618
Eficiencia vs Costos	0.1661	Débil	0.51
Eficiencia vs Tiempo de operatividad	0.0208	Nula	0.9344
Eficiencia vs Habitantes atendidos	-0.0541	Nula	0.831
Número de mantenimientos vs Tiempo de operatividad	0.2982	Débil	0.2294
Número de mantenimientos vs Habitantes atendidos	0.4969	Moderada	0.0359
Número de mantenimientos vs Costos	0.9642	Fuerte	$1.2E^{-10}$

Fuente: Adaptado de Akoglu, (2018).

Elaboración: A. Yunga, (2018).



CAPÍTULO V

5. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este estudio aportan información útil para mejorar la sostenibilidad operacional y la relación costo-beneficio que presentan las plantas de tratamiento de aguas residuales del área rural de la ciudad de Cuenca.

Molinos-Senante et al., (2010) señala en su estudio, que el rubro más importante en la O&M de los sistemas descentralizados es el del personal, que representa aproximadamente un tercio (30%) del costo total por mantenimiento. De igual manera, la presente investigación demostró que la principal contribución del costo total son los salarios del personal con alrededor del 53%, seguido del transporte de lodos con el 30%. Esto se debe principalmente a la gran participación de personal en las labores de mantenimiento y equipo electromecánico (vehículos cisterna) usados en instalaciones muy pequeñas. Concepto conocido como economía de escala que reduce los costos para instalaciones más grandes (Noyola et al., 2012).

Un problema reconocido por ETAPA es la entrada recurrente de aguas ilícitas proveniente de lluvias, riego, descargas ilegales, etc. Estas descargas hacen que los sistemas se desborden y ciertos caudales no reciban tratamiento, algunos descargándose directamente en los cuerpos receptores. Los caudales ilícitos tienen diversos orígenes; sin embargo, el principal es: (i) drenaje de cultivos y exceso de agua de riego, que incorpora altas concentraciones de pesticidas (Alvarado et al., 2017). Lo que coincide con lo observado en la Tabla 7 donde, el número de habitantes atendidos no tiene relación con las descargas a los sistemas, pues, se observó un excedente de caudal, especialmente los sistemas ubicados en parroquias agrícolas como: Octavio Cordero Palacios, Victoria del Portete, Tarqui y Santa Ana. Esto se debe a la alta tasa de descargas ilícitas en áreas rurales y más aún en zonas agrícolas. Lo que significa que las plantas no están trabajando a su capacidad de diseño y que existe un importante exceso de caudal que no está siendo tratado.

Metcalf & Eddy, (2002) considera como flujos con altas concentraciones de contaminantes aquellos que bordean valores de 350 y 800 mg/L, para la DBO₅ y DQO, respectivamente. En la Tabla 8 los promedios de las caracterizaciones de la planta de Escaleras presenta altas



concentraciones en estos parámetros sobrepasando mencionada referencia que reportaron concentraciones de DBO_5 : 546 mg/L, DQO : 4736.11 mg/L. Teniendo así una relación DQO/DBO_5 de 8.5, lo que sugiere que el sistema recibe aguas con muy bajas características de biodegradabilidad de materia orgánica y el tipo de efluentes que provoca esto es el generado en la producción casera de lácteos, característica de las parroquias en la que se encuentran ubicadas las plantas, indicado por Matsumoto & Sánchez Ortiz, (2016).

En la Tabla 10 es posible observar la configuración de las plantas de tratamiento, donde predomina la combinación de fosas sépticas + filtros anaerobios (15 PTARs), seguido de sistemas con fosas sépticas + humedales artificiales de flujo horizontal (5 PTARs). Bajo el criterio de Sperling, (2007) los costos de O&M varían según la tecnología usada, así, las fosas sépticas + filtros anaerobios representan un valor entre 2.5 y 4 USD/hab.año, mientras que las fosas sépticas + humedales artificiales de flujo horizontal registran cifras entre 1.5 y 2.5 USD/hab.año. En la Tabla 7, el 29% de sistemas con fosas sépticas + filtros anaerobios cumplen con lo estipulado por Sperling, (2007) mientras que el 57% de plantas con esta misma configuración sobrepasa los valores con 70% más. De la misma forma ocurre con la configuración de fosas sépticas + humedales artificiales de flujo horizontal, el 75% no cumple con la aproximación de Sperling, (2007) y sobrepasa sus valores con un 74%. Este aumento de los porcentajes en el presente estudio en comparación a las referencias de Sperling, se atribuyen a las actividades innecesarias en la O&M, pues esto genera un incremento en el valor final a pagar por la población atendida.

Las eficiencias presentadas en la investigación son relativamente bajas, no tienen relación entre el número de habitantes atendidos y la configuración que presentan. Lo que sería causado por las actividades de limpieza realizadas sin necesidad, que lavan la biomasa de los reactores, provocando este bajo desempeño. Chernicharo, (2007) afirma que el éxito del tratamiento de efluentes depende fundamentalmente del mantenimiento de biomasa con una alta actividad microbiológica dentro de los reactores. Cresson et al., (2006) sugiere que el tiempo de formación de la biomasa toma aproximadamente entre 80 y 100 días. Dado que el periodo entre mantenimientos es en promedio aproximadamente de 10 días para 20 sistemas y para la planta de Quillopungo es de alrededor de 5 días, es evidente que el tiempo es insuficiente para permitir el crecimiento de nueva biomasa en los reactores.



Por ende, prácticamente no existe actividad biológica en los reactores de tratamiento, así los tanques sépticos funcionan como sedimentadores y los reactores anaerobios como medio de filtración.

La eliminación de organismos patógenos es casi despreciable en los sistemas. Esto se debe a las bajas eficiencias típicas de los procesos anaerobios (Alvarado et al., 2017; Sperling, 2007). Por ende, ninguno de los sistemas, en términos de CF alcanza los estándares ecuatorianos para la descarga a cuerpos de agua dulce o para la reutilización del agua en el riego de cultivos (2000NMP/100 ml). Lo que sugiere la necesidad de un tratamiento adicional al final de las descargas para la eliminación de patógenos.

Además, se presentaron discordancias entre las concentraciones de contaminantes del efluente y los porcentajes de eficiencia de remoción, pues en la Tabla 10 se observaron porcentajes de remoción favorables de los contaminantes, no obstante, los valores de las concentraciones de los contaminantes expresados en la Tabla 9 no concuerdan con los porcentajes de eficiencia de la Tabla 10, es posible que se deba a los procesos de tratamiento biológicos de las aguas residuales y sus particularidades (características del agua residual y fenómenos de dilución) lo que puede generar porcentajes de eficiencias menores (Alvarado et al., 2017). Así como también al funcionamiento de las plantas a capacidad (parcial o total) y el tipo de tecnología empleada, puesto que el grado de eficiencia será mayor en sistemas aerobios que en anaerobios (Azizi et al., 2013).

En la comparación del costo que representa continuar con los mantenimientos en el estado actual de las plantas y la inversión para la construcción de una nueva, la construcción aparece como factible (Tabla 11), pero esto es para 11 de los 21 sistemas, mientras que al comparar la inversión para la reparación de las plantas existentes con la construcción de nuevas, lo más rentable es la reparación hasta el final de su periodo de diseño, pues es viable para todos los sistemas, por lo tanto la mejor solución es reparar las plantas, con resultandos favorables tanto para la empresa, como para los usuarios del servicio.

La determinación del costo no sólo tiene un enfoque netamente económico, este también considera variables como la eficiencia de eliminación de contaminantes, por lo tanto, los costos desproporcionados debidos a una mala gestión en la O&M presentan un aspecto clave para generar un buen estado ambiental de la calidad del agua (Molinos-Senante et al., 2011).



CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES

La principal contribución en el costo total de O&M de los sistemas son los salarios de los trabajadores (> 53%) que realizan la limpieza de los reactores. Por lo tanto, existe la posibilidad de ahorrar importantes recursos en la O&M con la adecuada capacitación del personal encargado de las PTAR, y así reducir el número de mantenimientos innecesarios en los sistemas.

La cantidad de recursos utilizados para el transporte y tratamiento de lodos extraídos de los sistemas, es considerablemente alto pues su principal destino son las lagunas de tratamiento de Ucubamba. Lo que indica, que las constantes descargas de lodos afectarán a largo plazo la eficiencia de este sistema centralizado, cuyo tratamiento representa un costo adicional que no está contabilizado en la O&M de los sistemas descentralizados.

Los costos calculados por cada mantenimiento no se pueden considerar como valores fijos, pues existen otros rubros no considerados en el análisis, como son el mantenimiento de vehículos y el costo del tratamiento de lodos en la planta de Ucubamba.

El estudio demuestra que el número de trabajos de mantenimiento no tiene relación con el tamaño de los sistemas ni con la configuración tecnológica de las plantas. Por lo que se concluye que las labores de limpieza se han ejecutado principalmente mediante un calendario de actividades en lugar de una acción requerida en las PTAR.

La evaluación financiera muestra la viabilidad de la inversión para la reparación de los sistemas existentes, resultando con costos por habitante atendido más bajos, que los equivalentes invertidos hoy en día en la O&M, e inclusive más bajos que los que representan la construcción de una nueva planta. Sin embargo, en base al análisis obtenido en el presente estudio, los sistemas reparados y la posible puesta en marcha de nuevas plantas, necesitarían un nuevo enfoque para O&M que tenga en cuenta las especificidades de los sistemas, especialmente con respecto al tiempo necesario para el crecimiento de biomasa viable.



7. LIMITACIONES Y RECOMENDACIONES

Este estudio presentó limitantes debido a la escasez de datos, como: caudales de afluentes y efluentes, rubros de mantenimientos de vehículos y el costo del tratamiento de lodos. Por ello se recomienda implementar en las PTAR estructuras de medición de caudales que permitan el registro de los caudales entrantes y salientes de cada uno de los sistemas.

En base a las conclusiones, se sugiere la reparación de las plantas existentes y una reestructuración en el manejo y gestión de los mantenimientos, creando un programa basado a las necesidades de cada sistema. Evitando de esta manera la realización de los trabajos de mantenimiento de forma aleatoria o por cronogramas, pues de esta forma no sólo se corregirá las deficiencias de los sistemas, además, se ahorrarán recursos económicos en mantenimientos innecesarios.

Se recomienda además, aprovechar la infraestructura de algunas PTAR que han quedado en desuso para la implementación de pequeñas plantas piloto con el objetivo de obtener la información técnica de los parámetros y coeficientes de diseños reales para las condiciones climáticas y ambientales a las cuales estarán expuestas. Lo que ayudará a la elección correcta de la tecnología, evitando la generalización de sistemas no adecuados en las diferentes parroquias.

Se sugiere la adecuada capacitación de los operadores de las plantas de tratamiento, con el objetivo, que entiendan el correcto manejo de los sistemas y contribuyan a un adecuado funcionamiento de los mismos, con lo cual se generaría un ahorro importante de recursos, y a su vez un apropiado tratamiento de efluentes domésticos satisfaciendo a la comunidad atendida.



8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akoglu, H. (2018). User's guide to correlation coefficients. *Turkish Journal of Emergency Medicine*, 18(3), 91-93. <https://doi.org/10.1016/j.tjem.2018.08.001>
- Alvarado, A., Larriva, J., Sánchez, E., Idrovo, D., & Cisneros, J. F. (2017). Assessment of decentralized wastewater treatment systems in the rural area of Cuenca, Ecuador. *Water Practice and Technology*, 12(1), 240-249. <https://doi.org/10.2166/wpt.2017.027>
- Azapagic, A. (2003). Systems Approach to Corporate Sustainability: A General Management Framework. *Process Safety and Environmental Protection*, 81(5), 303-316. <https://doi.org/10.1205/095758203770224342>
- Azizi, S., Valipour, A., & Sithebe, T. (2013). Evaluation of Different Wastewater Treatment Processes and Development of a Modified Attached Growth Bioreactor as a Decentralized Approach for Small Communities. *The Scientific World Journal*, 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/156870>
- BCE, B. C. del E. (2018, noviembre). Tasas de interés. Recuperado 15 de noviembre de 2018, de <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/SectorMonFin/TasasInteres/Indice.htm>
- Bermeo Moyano, H. B. (2013). Proyecto: DIPECHO VII "IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE VULNERABILIDADES A NIVEL CANTONAL" - CUENCA. Recuperado de <http://repositorio.cedia.org.ec/bitstream/123456789/842/1/Perfil%20territorial%20CUENCA.pdf>
- Buchanan, J. R. (2014). 3.13 - Decentralized Wastewater Treatment. En S. Ahuja (Ed.), *Comprehensive Water Quality and Purification* (pp. 244-267). Waltham: Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-382182-9.00050-5>
- Cairncross, S. (2018). The public health benefits of urban sanitation in low and middle income countries. *Utilities Policy*, 51, 82-88. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2018.03.001>
- Capodaglio, A. G., Callegari, A., Cecconet, D., & Molognoni, D. (2017). Sustainability of decentralized wastewater treatment technologies. *IWA Publishing*, 12(2), 463-475. <https://doi.org/10.2166/wpt.2017.055>
- Chernicharo, C. A. de L. (2007). *Anaerobic Reactors*. London: IWA Publishing. Recuperado de <https://www.iwapublishing.com/books/9781843391647/anaerobic-reactors>
- Chernicharo, C. a. L., Lier, J. B. van, Noyola, A., & Ribeiro, T. B. (2015). Anaerobic sewage treatment: state of the art, constraints and challenges. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 14(4), 649-679. <https://doi.org/10.1007/s11157-015-9377-3>
- Chong, M. N., Ho, A. N. M., Gardner, T., Sharma, A. K., & Hood, B. (2013). Assessing decentralised wastewater treatment technologies: correlating technology selection to system robustness, energy consumption and GHG emission. *Journal of Water and Climate Change*, 4(4), 338-347. <https://doi.org/10.2166/wcc.2013.077>
- Cresson, R., Carrère, H., Delgenès, J. P., & Bernet, N. (2006). Biofilm formation during the start-up period of an anaerobic biofilm reactor—Impact of nutrient complementation. *Biochemical Engineering Journal*, 30(1), 55-62. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2006.02.002>
- Dotro, G., Langergraber, G., Molle, P., Nivala, J., Puigagut, J., Stein, O., & Sperling, M. V. (2017). *Biological Wastewater Treatment Series (Volume 7) Treatment Wetlands* (Nova Techset,



- Chennai, India., Vol. 7). London: IWA Publishing. Recuperado de <https://www.iwapublishing.com/books/9781780408767/treatment-wetlands>
- El Telégrafo. (2017, enero 26). La cobertura de agua potable en Cuenca llega al 96,94%. *El Telégrafo*. Recuperado de <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/regional/1/la-cobertura-de-agua-potable-en-cuenca-llega-al-96-94>
- ETAPA EP, E. P. M. de T., Agua Potable y Alcantarillado. (2018). ETAPA EP - Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable y Alcantarillado. Recuperado 23 de mayo de 2018, de <http://www.etapa.net.ec/Productos-y-servicios/Saneamiento/Saneamiento>
- Garzón, C., Stutzenegger, G., & BID, B. I. de D. (2015). *Los Desafíos de la Agenda de Desarrollo Post-2015 para el Sector de Agua y Saneamiento en América Latina y el Caribe. Conclusiones de la Semana Mundial del Agua 2015*. Estocolmo. Recuperado de <https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/7583/Los-desafios-de-la-agenda-de-desarrollo-post-2015-para-el-sector-de-agua-y-saneamiento-en-America-Latina-y-el-Caribe-Conclusiones-de-la-Semana-Mundial-del-Agua-2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gikas, P., & Tchobanoglous, G. (2009). The role of satellite and decentralized strategies in water resources management. *Journal of Environmental Management*, 90(1), 144-152. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.08.016>
- Gomec, C. Y. (2010). High-rate anaerobic treatment of domestic wastewater at ambient operating temperatures: A review on benefits and drawbacks. *Journal of Environmental Science and Health. Part A, Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering*, 45(10), 1169-1184. <https://doi.org/10.1080/10934529.2010.493774>
- Grebel, J. E., Mohanty, S. K., Torkelson, A. A., Boehm, A. B., Higgins, C. P., Maxwell, R. M., ... Sedlak, D. L. (2013). Engineered Infiltration Systems for Urban Stormwater Reclamation. *Environmental Engineering Science*, 30(8), 437-454. <https://doi.org/10.1089/ees.2012.0312>
- GWP, G. W. P. (2016, marzo 9). Panorámica De Los Progresos En Saneamiento En Ecuador Entre 1990 Y 2015. Recuperado de https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/ecuador_es.pdf
- Ho, G. (2005). Technology for sustainability: the role of onsite, small and community scale technology. *Water Science and Technology*, 51(10), 15-20.
- Hwang, H., Forrester, A., & Lansey, K. (2014). Decentralized Water Reuse: Regional Water Supply System Resilience Benefits. *Procedia Engineering*, 70, 853-856. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.02.093>
- INEC, I. N. de E. y C. (2010). Población y Demografía. Recuperado 29 de septiembre de 2018, de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/>
- INEC, I. N. de E. y C. (2015, octubre). Documento Técnico Estadística De Información Ambiental Económica En Gobiernos Autónomo Descentralizados Municipales 2015 (Agua Y Alcantarillado). Recuperado 22 de mayo de 2018, de http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_2015/Documento_Tecnico-Gestion_de_Agua_y_Alcantarillado_2015.pdf
- INEC, I. N. de E. y C., & AME, A. D. M. E. (2016). Estadística De Información Ambiental Económica En Gobiernos Autónomo Descentralizados Municipales Agua Y Alcantarillado



2016. Recuperado de http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_2015/Presentacion_GAD_Municipales_Gestion_Agua_Alcantarillado_2015.pdf
- INEC, I. N. de E. y C., & Banco Mundial. (2017, mayo 16). Ecuador, pionero en medición de ODS de Agua, Saneamiento e Higiene. Recuperado 21 de mayo de 2018, de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/ecuador-pionero-en-medicion-de-ods-de-agua-saneamiento-e-higiene/>
- Jorsaraei, A., Gougol, M., & Van Lier, J. B. (2014). A cost effective method for decentralized sewage treatment. *Process Safety and Environmental Protection*, 92(6), 815-821. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2013.04.001>
- Kohler, L. E., Silverstein, J., & Rajagopalan, B. (2016). Predicting Life Cycle Failures of On-Site Wastewater Treatment Systems Using Generalized Additive Models. *Environmental Engineering Science*, 33(2), 112-124. <https://doi.org/10.1089/ees.2015.0275>
- Libralato, G., Volpi Ghirardini, A., & Avezzi, F. (2012). To centralise or to decentralise: An overview of the most recent trends in wastewater treatment management. *Journal of Environmental Management*, 94(1), 61-68. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.07.010>
- Lofrano, G., & Brown, J. (2010). Wastewater management through the ages: A history of mankind. *Science of The Total Environment*, 408(22), 5254-5264. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.07.062>
- Machado, A. I., Beretta, M., Fragoso, R., & Duarte, E. (2017). Overview of the state of the art of constructed wetlands for decentralized wastewater management in Brazil. *Journal of Environmental Management*, 187, 560-570. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.11.015>
- Maldonado Arias, F. (2006). *Formulación y evaluación de proyectos* (Primera, Vol. 1). Cuenca/Ecuador: U ediciones.
- Masi, F., Caffaz, S., & Ghrabi, A. (2013). Multi-stage constructed wetland systems for municipal wastewater treatment. *Water Science and Technology: A Journal of the International Association on Water Pollution Research*, 67(7), 1590-1598. <https://doi.org/10.2166/wst.2013.035>
- Massoud, M. A., Tarhini, A., & Nasr, J. A. (2009). Decentralized approaches to wastewater treatment and management: Applicability in developing countries. *Journal of Environmental Management*, 90(1), 652-659. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.07.001>
- Matsumoto, T., & Sánchez Ortiz, I. A. (2016). Desempeño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de São João de Iracema (Brasil). *Ingeniería*, 21(2), 176-186. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.reving.2016.2.a04>
- Maurer, M. (2009). Specific net present value: An improved method for assessing modularisation costs in water services with growing demand. *Water Research*, 43(8), 2121-2130. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.02.008>
- McCarty, P. L., Bae, J., & Kim, J. (2011). Domestic wastewater treatment as a net energy producer-can this be achieved? *Environmental Science & Technology*, 45(17), 7100-7106. <https://doi.org/10.1021/es2014264>
- Metcalf, & Eddy. (2002). *Wastewater Engineering: Treatment And Reuse (4th Ed.)* (4th Ed.). New York, NY, USA: MCGRAW-HILL.



- Molinos-Senante, M., Garrido-Baserba, M., Reif, R., Hernández-Sancho, F., & Poch, M. (2012). Assessment of wastewater treatment plant design for small communities: Environmental and economic aspects. *Science of The Total Environment*, 427-428, 11-18. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.04.023>
- Molinos-Senante, María, Hernández-Sancho, F., & Sala-Garrido, R. (2010). Economic feasibility study for wastewater treatment: A cost–benefit analysis. *Science of The Total Environment*, 408(20), 4396-4402. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.07.014>
- Molinos-Senante, María, Hernández-Sancho, F., & Sala-Garrido, R. (2011). Assessing disproportionate costs to achieve good ecological status of water bodies in a Mediterranean river basin. *Journal of Environmental Monitoring: JEM*, 13(8), 2091-2101. <https://doi.org/10.1039/c1em10209e>
- MOVILLA QUINTERO, J. A. (2012). *MANUAL DE OPERACION Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES* (Técnico No. MA-GM-01) (pp. 1-45). Valledupar, Cesar: EMDUPAR.
- Nawaz, R., & Waya, B. G. K. (2014). Estimating the amount of cold water wastage in UK households. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Water Management*, 167(8), 457-466. <https://doi.org/10.1680/wama.12.00109>
- Novotný, J., Hasman, J., & Lepič, M. (2018). Contextual factors and motivations affecting rural community sanitation in low- and middle-income countries: A systematic review. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 221(2), 121-133. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2017.10.018>
- Noyola, A., Morgan-Sagastume, J. M., & Güereca, L. P. (2013). *Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Guía de Apoyo para Ciudades Pequeñas* (Primera). México. Recuperado de http://www.pronatura-sur.org/web/docs/Tecnologia_Aguas_Residuales.pdf
- Noyola, A., Padilla- Rivera, A., Morgan- Sagastume, J. M., Güereca, L. P., & Hernández- Padilla, F. (2012). Typology of Municipal Wastewater Treatment Technologies in Latin America. *CLEAN – Soil, Air, Water*, 40(9), 926-932. <https://doi.org/10.1002/clen.201100707>
- Ordóñez, G. (2009). *Diagnóstico y Evaluación Preliminar de los Sistemas de Depuración de Aguas Residual que Sirven a Centros Parroquiales y Caseríos en el Cantón Cuenca*. Cuenca: ETAPA EP.
- Otterpohl, R., Braun, U., & Oldenburg, M. (2003). Innovative technologies for decentralised water-, wastewater and biowaste management in urban and peri-urban areas. *Water Science and Technology: A Journal of the International Association on Water Pollution Research*, 48(11-12), 23-32.
- Rodas, V. (2018). Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales del Sector Rural de la Ciudad de Cuenca.
- Salgot, M., & Folch, M. (2018). Wastewater treatment and water reuse. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 2, 64-74. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.03.005>
- Show, K.-Y., & Lee, D.-J. (2017). 8 - Anaerobic Treatment Versus Aerobic Treatment. En *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering* (pp. 205-230). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63665-2.00008-4>



- Singh, N. K., Kazmi, A. A., & Starkl, M. (2015). A review on full-scale decentralized wastewater treatment systems: techno-economical approach. *IWA Publishing*, 4(71), 468-476. <https://doi.org/10.2166/wst.2014.413>
- Sperling, M. V. (2007). *Biological Wastewater Treatment Series (Volume 1) Wastewater Characteristics, Treatment and Disposal* (Aptara Inc., New Delhi, India, Vol. 1). London: IWA Publishing. Recuperado de <https://www.iwapublishing.com/books/9781843391616/wastewater-characteristics-treatment-and-disposal>
- Stazi, V., & Tomei, M. C. (2018). Enhancing anaerobic treatment of domestic wastewater: State of the art, innovative technologies and future perspectives. *Science of The Total Environment*, 635, 78-91. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.071>
- Taylor, R. H., van Wijk, L. G. A., May, J. H. M., & Carhart, N. J. (2015). A study of the precursors leading to 'organisational' accidents in complex industrial settings. *Process Safety and Environmental Protection*, 93, 50-67. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2014.06.010>
- Tchobanoglous, G., Ruppe, L., Leverenz, H., & Darby, J. (2004). Decentralized wastewater management: challenges and opportunities for the twenty-first century. *Water Science and Technology: Water Supply*, 4(1), 95-102.
- United Nations. (2017). *The Sustainable Development Goals Report 2017*. New York, NY, USA. Recuperado de <https://unstats.un.org/sdgs/files/report/2017/TheSustainableDevelopmentGoalsReport2017.pdf>
- University of Yale. (2014). Wastewater Treatment Map. Recuperado 16 de mayo de 2018, de http://epi.yale.edu/waste_map/
- WHO, W. H. O., & UNICEF. (2017). *Progress on drinking water, sanitation and hygiene: 2017 update and SDG baselines*. Recuperado de http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/jmp-2017/en/
- Wilderer, P. A. (2004). Applying sustainable water management concepts in rural and urban areas: some thoughts about reasons, means and needs. *Water Science and Technology: A Journal of the International Association on Water Pollution Research*, 49(7), 8-16.
- Wilderer, P. A., & Schreff, D. (2000). Decentralized and centralized wastewater management: A challenge for technology developers. *Water Science and Technology*, 41(1), 1-8.
- Zaharia, C. (2012). Evaluation of environmental impact produced by different economic activities with the global pollution index. *Environmental Science and Pollution Research*, 19(6), 2448-2455. <https://doi.org/10.1007/s11356-012-0883-3>
- Zaharia, C. (2017). Decentralized wastewater treatment systems: Efficiency and its estimated impact against onsite natural water pollution status. A Romanian case study. *Process Safety and Environmental Protection*, 108, 74-88. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.02.004>
- Zhang, D.-Q., Jinadasa, K. B. S. N., Gersberg, R. M., Liu, Y., Tan, S. K., & Ng, W. J. (2015). Application of constructed wetlands for wastewater treatment in tropical and subtropical regions (2000–2013). *Journal of Environmental Sciences*, 30, 30-46. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2014.10.013>



9. ANEXOS

Anexo A

Tablas de salarios y tiempo invertido por parte del personal en las diferentes plantas, por año.

Cargo	Año 2015																					
	Pago [USD]			Tiempo invertido por trabajador [h]																		
	Mensual	Día	Hora	Achayacu	Cementerio	Escaleras	Laureles	Quilopungo	Quingo	Tutupali	San Pedro	Bella Unión	Tarqui	Cumbe	Soldados	Macas	Pillachiquir	Chaucha	Guabo	El chorro	Molleturo	Churuguzo
Supervisor	1293	58.78	7.35	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	2.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Inspector	892	40.55	5.07	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Chofer del Ingeniero	756	34.36	4.29	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	2.5	0.25	0.25	0.25	0.25
Chofer de cuadrilla	914	41.53	5.19	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	0.25	2.5	2.5	2.5	2.5
Peón 1	673	30.58	3.82	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	0.25	2.5	2.5	2.5	2.5
Peón 2	751	34.13	4.27	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	0.25	2.5	2.5	2.5	2.5
Chofer del hidroclicanear pequeño	892	40.55	5.07	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	2	2	0	2	1	2	2
Auxiliar de hidroclicanear 1	756	34.36	4.29	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	2	2	0	2	1	2	2
Auxiliar de hidroclicanear 2	756	34.36	4.29	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	2	2	0	2	1	2	2
Chofer del hidroclicanear grande	892	40.55	5.07	0.25	0	0	0	0.25	0.25	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0.25	0	0	1.5
Auxiliar de hidroclicanear 1	756	34.36	4.29	0.25	0	0	0	0.25	0.25	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0.25	0	0	1.5
Auxiliar de hidroclicanear 2	756	34.36	4.29	0.25	0	0	0	0.25	0.25	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0.25	0	0	1.5

Fuente: ETAPA EP, (2018).
Elaboración: A. Yunga, (2018).



Año 2016																								
Cargo	Pago [USD]			Tiempo invertido por trabajador [h]																				
	Mensual	Día	Hora	Achayacu	Cementerio	Escaleras	Laureles	Quillopungo	Quingeo	Tutupali	San Pedro	Bella Unión	Tarqui	Cumbe	Soldados	Macas	Pillachiquir	Chaucha	Guabo	El chorro	Molleturo	Churuguzo	Octavio Cordero	Monjas
Supervisor	1376	62.53	7.82	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	2.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Inspector	949	43.14	5.39	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Chofer del Ingeniero	804	36.55	4.57	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	2.5	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Chofer de cuadrilla	972	44.18	5.52	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	0.25	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Peón 1	716	32.53	4.07	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	0.25	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Peón 2	799	36.31	4.54	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	0.25	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Chofer del hidroclicanear pequeño	949	43.14	5.39	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	2	2	0	2	1	2	2	1	2
Auxiliar de hidroclicanear 1	804	36.55	4.57	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	2	2	0	2	1	2	2	1	2
Auxiliar de hidroclicanear 2	804	36.55	4.57	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	2	2	0	2	1	2	2	1	2
Chofer del hidroclicanear grande	949	43.14	5.39	0.25	0	0	0	0.25	0.25	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0.25	0	0	1.5	0	0.25
Auxiliar de hidroclicanear 1	804	36.55	4.57	0.25	0	0	0	0.25	0.25	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0.25	0	0	1.5	0	0.25
Auxiliar de hidroclicanear 2	804	36.55	4.57	0.25	0	0	0	0.25	0.25	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0.25	0	0	1.5	0	0.25

Fuente: ETAPA EP, (2018).
Elaboración: A. Yunga, (2018).



Año 2017																								
Cargo	Pago [USD]			Tiempo invertido por trabajador [h]																				
	Mensual	Día	Hora	Achayacu	Cementerio	Escaleras	Laureles	Quilopungo	Quingeo	Tutupali	San Pedro	Bella Unión	Tarqui	Cumbe	Soldados	Macas	Pillachiquir	Chaucha	Guabo	El chorro	Molleturo	Churuguzo	Octavio Cordero	Monjas
Supervisor	1464	66.53	8.32	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	2.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Inspector	1010	45.89	5.74	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Chofer del Ingeniero	855	38.88	4.86	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	2.5	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Chofer de cuadrilla	1034	47.00	5.88	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	0.25	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Peón 1	761	34.61	4.33	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	0.25	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Peón 2	850	38.63	4.83	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	0.25	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Chofer del hidroclicanear pequeño	1010	45.89	5.74	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	2	2	0	2	1	2	2	1	2
Auxiliar de hidroclicanear 1	855	38.88	4.86	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	2	2	0	2	1	2	2	1	2
Auxiliar de hidroclicanear 2	855	38.88	4.86	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	2	2	0	2	1	2	2	1	2
Chofer del hidroclicanear grande	1010	45.89	5.74	0.25	0	0	0	0.25	0.25	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0.25	0	0	1.5	0	0.25
Auxiliar de hidroclicanear 1	855	38.88	4.86	0.25	0	0	0	0.25	0.25	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0.25	0	0	1.5	0	0.25
Auxiliar de hidroclicanear 2	855	38.88	4.86	0.25	0	0	0	0.25	0.25	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0.25	0	0	1.5	0	0.25

Fuente: ETAPA EP, (2018).
Elaboración: A. Yunga, (2018).



Año 2018																								
Cargo	Pago [USD]			Tiempo invertido por trabajador [h]																				
	Mensual	Día	Hora	Achayacu	Cementerio	Escaleras	Laureles	Quilopungo	Quingeo	Tutupali	San Pedro	Bella Unión	Tarqui	Cumbe	Soldados	Macas	Pillachiquir	Chauca	Guabo	El chorro	Molleturo	Churuguzo	Octavio Cordero	Monjas
Supervisor	1557	70.8	8.85	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	2.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Inspector	1074	48.8	6.10	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Chofer del Ingeniero	910	41.4	5.17	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	2.5	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Chofer de cuadrilla	1100	50.0	6.25	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	0.25	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Peon 1	810	36.8	4.60	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	0.25	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Peon 2	904	41.1	5.14	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	0.25	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Chofer del hidroclicanear pequeño	1074	48.8	6.10	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	2	2	0	2	1	2	2	1	2
Auxiliar de hidroclicanear 1	910	41.4	5.17	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	2	2	0	2	1	2	2	1	2
Auxiliar de hidroclicanear 2	910	41.4	5.17	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	2	2	0	2	1	2	2	1	2
Chofer del hidroclicanear grande	1074	48.8	6.10	0.25	0	0	0	0.25	0.25	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0.25	0	0	1.5	0	0.25
Auxiliar de hidroclicanear 1	910	41.4	5.17	0.25	0	0	0	0.25	0.25	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0.25	0	0	1.5	0	0.25
Auxiliar de hidroclicanear 2	910	41.4	5.17	0.25	0	0	0	0.25	0.25	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0.25	0	0	1.5	0	0.25

Fuente: ETAPA EP, (2018).
Elaboración: A. Yunga, (2018).

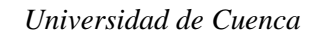


Tabla de insumos y cantidades usadas.

lb: libras gal: galones u: unidad

Fuente: ETAPA EP, (2018).

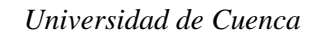
Elaboración: A. Yunga, (2018).



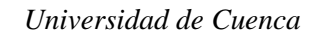
Información de mantenimientos de las plantas^a.

Nota. ^a Se adjuntaron las tablas de las plantas de El chorro, San Pedro, Quillopungo, Octavio Cordero y Monjas.

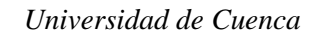
Arleth del Rocío Yunga Cuntada



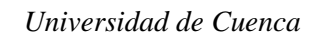
Fuente: ETAPA EP, (2018).
Elaboración: A. Yunga, (2018).



Fuente: ETAPA EP, (2018).
Elaboración: A. Yunga, (2018).



Fuente: ETAPA EP, (2018).
Elaboración: A. Yunga, (2018).



Fuente: ETAPA EP, (2018).
Elaboración: A. Yunga, (2018).

**Anexo D**

Número de mantenimientos durante el periodo 2015 - 2017.

N°	Nombre de la planta	Número de Mantenimientos		
		Año 2015	Año 2016	Año 2017
1	Achayacu	12	12	33
2	Bella Unión	8	27	59
3	Cementerio	43	35	61
4	Churuguzo	35	58	64
5	El Chorro	3	1	6
6	Escaleras	24	21	38
7	Estación Cumbe	17	8	23
8	Guabo	21	26	43
9	Macas de Quingeo	25	19	23
10	Monjas	---	1	21
11	Laureles	45	34	49
12	Octavio Cordero Palacios	---	6	22
13	Pillachiquir	14	11	18
14	Pueblo Nuevo - Molleturo	3	1	16
15	Quillopungo	137	173	109
16	Quingeo Centro	42	43	50
17	San Gabriel - Chaucha	1	3	8
18	San Pedro	19	30	48
19	Soldados	7	5	15
20	Tarqui Centro	32	65	58
21	Tutupali	13	18	42
Promedio		26	28	38

Fuente: ETAPA EP, (2018).

Elaboración: A. Yunga, (2018).



Anexo E

Proyección de mantenimientos.

Nº	Año	Número de Mantenimientos	Porcentaje de Crecimiento	Porcentaje promedio anual usado
1	2015	26		
2	2016	28	8%	
3	2017	38	35%	
4	2018	43	12%	
5	2019	49	14%	
6	2020	55	12%	
7	2021	61	11%	
8	2022	67	10%	15%
9	2023	73	9%	
10	2024	79	8%	
11	2025	85	8%	
12	2026	91	7%	12%
13	2027	97	7%	
14	2028	103	6%	11%
15	2029	109	6%	
16	2030	115	6%	
17	2031	121	5%	
18	2032	127	5%	10%
19	2033	133	5%	
20	2034	139	5%	
21	2035	145	4%	
22	2036	151	4%	
23	2037	157	4%	
24	2038	163	4%	8%
25	2039	169	4%	
26	2040	175	4%	7%

Fuente: ETAPA EP, (2018).

Elaboración: A. Yunga, (2018).